共同研究報告書
整理番号第 356 号

鋼橋塗装のコスト削減方法に関する
共同研究報告書

平成１９年１月

独立行政法人 土木研究所 材料地盤研究グループ（新材料）
関 西 ペ イ ン ト 株 式 会 社
神 東 塗 料 株 式 会 社
大 日 本 塗 料 株 式 会 社
中 国 塗 料 株 式 会 社
日 本 ペ イ ン ト 株 式 会 社

共同研究報告書
第 356 号平成 19 年 1 月

鋼橋塗装のコスト削減方法に関する
共同研究報告書

独立行政法人　土木研究所　材料地盤研究グループ(新材料)　上席研究員　西崎　到
総括主任研究員　守屋　進
関西ペイント株式会社　第２事業部　技術開発部防食グループ　部長　浜村　寿弘
建設塗料本部　防食塗料技術部　黒川　雅哲
神東塗料株式会社　鉄構道路事業本部　防食塗料事業部　課長　後藤　正承
大日本塗料株式会社　一般塗料部　構造物塗料グループ　チームリーダー　岩見　勉
中国塗料株式会社　インダストリアルディビジョン技術統括部　主務　斉藤　誠
日本ペイント株式会社　鉄構塗料部技術グループ　係長　藤城　正樹

要旨

鋼橋塗装のライフサイクルコストを縮減するためには、耐久性に優れている重防食塗装系を採用することが有効であるが、従来の一般塗装系に比べて初期コストが高くなるため、重防食塗装系の初期コストを削減することが重防食塗装系の普及には欠かせない。
このため、重防食塗装系の初期コストを削減するための新規塗料について塗膜性能試験、耐久性試験を行った結果をとりまとめたものである。

キーワード：重防食塗装系、初期コスト削減、新規塗料、塗膜性能試験、耐久性試験

はじめに

鋼道路橋の維持管理に占める塗り替え塗装費用が大きいことから、鋼橋塗装のコスト削減が求められている。このため、新設道路橋の塗装はより耐久性に優れている重防食塗装系の適用により塗り替え間隔の長期化が図られている。一方、すでに 70,000 橋以上のストックを要する鋼道路橋は、その大部分は一般塗装系が適用されているため、10 年～15 年程度の周期で塗り替え塗装が行われており、これらについても塗り替え周期を延長することが求められている。このため、一般塗装系が塗装されている鋼道路橋では、素地調整程度 1 種で旧塗膜を完全に除去した上で重防食塗装系に変更することが望ましい。塗り替え間隔の長期化により、鋼橋塗装のライフサイクルコストを縮減することが可能となる。しかし、このような重防食塗装系への塗り替えにあたっては、これまでの一般塗装系による塗り替えに比べて、塗り替え塗装費が高くなることが、導入にあたっての障害の一つとなっていた。このため、新設、塗り替えを問わず重防食塗装系を普及させて鋼道路橋塗装のライフサイクルコストを縮減するためには､重防食塗装への変更に当たっての初期コストを削減することが必要である。

このような状況から、重防食塗装系の初期コストを削減することを目指して塗料メーカー 5 社と共同研究を実施した。塗料メーカーより提案のあった鋼道路橋塗装コストを削減するための塗装回数を削減した新規塗料を用いた塗装系について塗膜性能試験、耐久性試験を行った。ただし、耐久性試験は、屋外暴露試験がまだ 3 年であることから、十分にその耐久性を評価できていないので、さらに屋外暴露試験を継続している。

本報告書は、塗膜性能試験の結果、および耐久性試験のうち促進試験結果と屋外暴露試験 3 年の結果をとりまとめたものである。

－　目次　－

１．共同研究の目的　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　1

２．共同研究体制および期間　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　1
　２．１　共同研究体制　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　1
　２．２　共同研究期間　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　1

３．共同研究内容　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　2
　３．１　提案新規塗料塗装系のコスト削減方法と削減指数・削減率　・・・・・・・　2
　３．２　試験内容・目的と試験方法　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　5
　３．２．１　屋外暴露試験　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　5
　３．２．２　複合サイクル試験（CCT）　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　7
　３．２．３　促進耐候性試験　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　7
　３．２．４　耐湿性試験　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　8
　３．２．５　塗膜特性試験　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　8
　３．２．６　試験方法、評価方法および評価基準に関する関連規格　・・・・・・・　9

４．関西ペイント株式会社　提案塗装系と試験結果
　４．１　提案塗装系　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　11
　４．２　試験結果　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　12
　４．２．１　屋外暴露試験　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　12
　（１）塗膜外観および付着性　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　12
　（２）光沢度　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　16
　（３）色差　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　19
　（４）塗膜表面観察　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　24
　（５）インピーダンス　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　28
　（６）直流抵抗値　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　29
　４．２．２　複合サイクル試験（CCT）　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　30
　４．２．３　促進耐候性試験（キセノンランプ法）　・・・・・・・・・・・・・・　32
　４．２．４　塗膜特性試験　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　34
　４．３　まとめ　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　35
　４．３．１　便覧 C-2 対応塗装系　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　35
　４．３．２　便覧 C-4 対応塗装系　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　36

５．神東塗料株式会社　提案塗装系と試験結果
　５．１　提案塗装系　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　37

５．２　試験結果　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 38
５．２．１　屋外暴露試験　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 38
（１）塗膜外観および付着性　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 38
（２）光沢度　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 40
（３）色差　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 42
（４）塗膜表面観察　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 44
（５）インピーダンス　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 46
（６）直流抵抗値　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 46
５．２．２　複合サイクル試験（CCT）　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 47
５．２．３　促進耐候性試験（キセノンランプ法）　・・・・・・・・・・・・・・・ 48
５．２．４　塗膜特性試験　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 49
５．３　まとめ　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 49

６．大日本塗料株式会社　提案塗装系と試験結果
６．１　提案塗装系　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 51
６．２　試験結果　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 52
６．２．１　屋外暴露試験　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 52
（１）塗膜外観および付着性　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 52
（２）光沢度　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 56
（３）色差　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 60
（４）塗膜表面観察　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 64
（５）インピーダンス　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 70
（６）直流抵抗値　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 71
６．２．２　複合サイクル試験（CCT）　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 72
６．２．３　促進耐候性試験（キセノンランプ法）　・・・・・・・・・・・・・・・ 74
６．２．４　塗膜特性試験　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 76
６．３　まとめ　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 77
６．３．１　便覧 C-2 対応塗装系　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 77
６．３．２　便覧 C-4 対応塗装系　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 75

７．中国塗料株式会社　提案塗装系と試験結果
７．１　提案塗装系　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 79
７．２　試験結果　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 81
７．２．１　屋外暴露試験　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 81
（１）塗膜外観および付着性　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 81
（２）光沢度　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 85
（３）色差　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 90

（4）塗膜表面観察 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 95
（5）インピーダンス ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 100
（6）直流抵抗値 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 101
7．2．2 複合サイクル試験（CCT） ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 102
7．2．3 促進耐候性試験（キセノンランプ法） ・・・・・・・・・・・・・・・・ 105
7．2．4 耐湿性試験 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 106
7．2．5 塗膜特性試験 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 107
7．3 まとめ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 108
7．3．1 便覧 C-4 対応塗装系 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 109
7．3．2 便覧 D-4 対応塗装系 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 110

8．日本ペイント株式会社 提案塗装系と試験結果
8．1 提案塗装系 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 111
8．2 試験結果 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 111
8．2．1 屋外暴露試験 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 111
（1）塗膜外観および付着性 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 111
（2）光沢度 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 116
（3）色差 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 120
（4）塗膜表面観察 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 124
（5）インピーダンス ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 128
（6）直流抵抗値 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 129
8．2．2 複合サイクル試験（CCT） ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 130
8．2．3 促進耐候性試験（キセノンランプ法） ・・・・・・・・・・・・・・・・ 132
8．2．4 耐湿性試験 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 133
8．2．5 塗膜特性試験 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 134
8．3 まとめ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 135
8．3．1 便覧 C-4 対応塗装系 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 135
8．3．2 便覧 D-4 対応塗装系 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 136

9．全体のまとめ ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 137
9．1 便覧 C-2 対応塗装系 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 137
9．2 便覧 C-4 対応塗装系 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 139
9．3 便覧 D-4 対応塗装系 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 144
9．4 塗膜の酸素透過係数、透湿係数、応力緩和能と防食性の関係調査 ・・・・ 145

（資料）
資料－1 屋外暴露試験 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 148

資料－２　複合サイクル試験装置　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 149
資料－３　促進耐候性試験装置　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 150
資料－４　耐湿試験装置　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 151
資料－５　塗膜表面観察装置　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 152
資料－６　インピーダンス試験装置　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 153
資料－７　塗膜抵抗測定装置　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 154
資料－８　酸素透過性測定装置　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 155
資料－９　水蒸気透過度測定装置　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 156
資料－10　塗膜力学特性測定装置　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 157

１．共同研究の目的

鋼橋塗装のライフサイクルコスト（以下、ＬＣＣ）を縮減するために、耐久性に優れた重防食塗装系の採用が有効であるが、従来の一般塗装系に対して初期コストが高くなる。このため、重防食塗装の初期コストを削減することが重防食塗装系の普及に欠かせない。

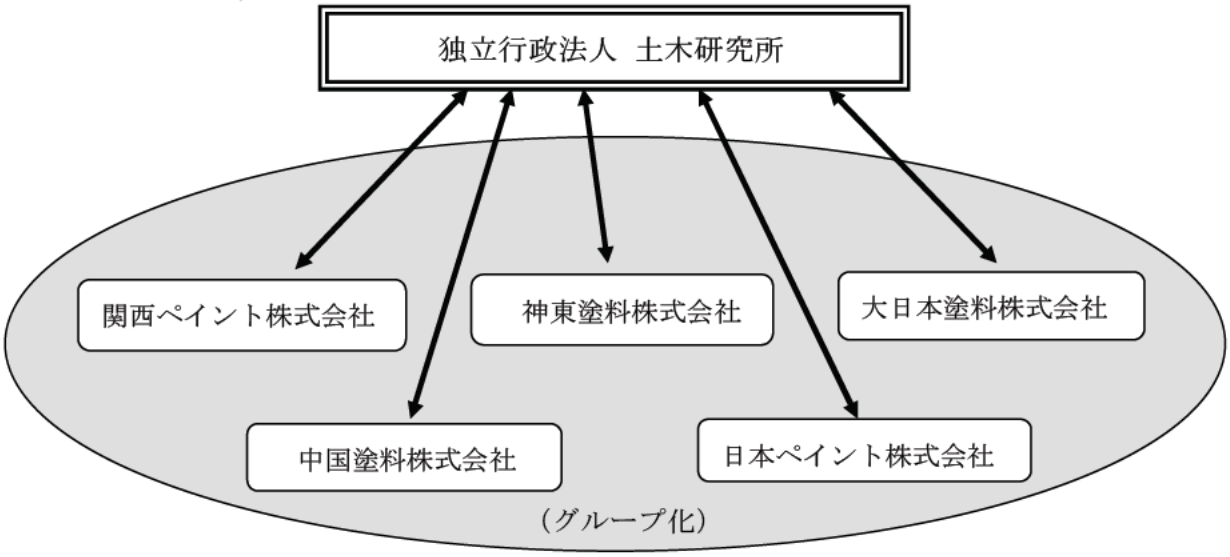
本共同研究では、重防食塗装の初期コストを削減するための新規塗料の塗膜性能試験、耐久性試験、施工試験を行いその実用性を総合評価して、新規塗料による塗装コスト削減技術を開発することを目的とする。

２．共同研究体制および期間

鋼橋塗装に関して現状と課題をよく理解して材料開発を行っている材料メーカーとの研究協力が効率的な研究推進に不可欠であり、本共同研究の公募に対して応募してきた塗料メーカー５社のＶＥ提案塗料を用いて検討を進めた。

２．１　共同研究体制

本共同研究は、基本的には独立行政法人土木研究所と塗料メーカー各社との共同研究であるが、公正、かつ効率的な評価が期待できることから、塗料メーカー５社のグループ化により実務を推進した。



２．２　共同研究期間

研究期間は平成 15 年 4 月から平成 18 年 3 月の３年間であった。

３．共同研究内容

塗料メーカー５社がＶＥ提案した新規塗料を用いた重防食塗装系について塗膜性能試験、耐久性試験を実施した。なお、施工性試験については新規塗料を用いた重防食塗装系の中から２システムを選定して、独立行政法人土木研究所と社団法人日本橋梁・鋼構造物塗装技術協会との共同研究である「橋梁用現場施工スプレー塗装技術の開発」の中で検討した。（この報告書では内容は割愛する）

３．１　提案新規塗料塗装系のコスト削減手法と削減指数・削減率

下記の現行重防食塗装系（平成２年版 鋼道路橋塗装便覧、以下、便覧と記す）に対するコスト削減を図った新規塗装系と、コスト削減指数および削減率(%)を、それぞれの対応する便覧の重防食塗装系毎に表－3.1～表－3.3 に示す。いずれの塗装系も、コスト削減方法は、省工程化によっていた。

【対比する便覧の重防食塗装系】

（１）外面用 C-2 塗装系（無機ジンクリッチペイント＋エポキシ樹脂塗料＋ポリウレタン樹脂塗料仕上げシステム）

（２）外面用 C-4 塗装系（無機ジンクリッチペイント＋エポキシ樹脂塗料＋ふっ素樹脂塗料仕上げシステム）

（３）内面用 D-4 塗装系（変性エポキシ樹脂塗料仕上げシステム）

表－3.1　外面用便覧 C-2 塗装系対応

塗料メーカー	提案塗装系№	試験板№	コスト削減手法						コスト指数と削減率(注２)	
			工程短縮（省工程）		塗膜厚		塗料品種		コスト指数	削減率
基準	C-2塗装系	D-C-2	６工程		250μm		無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ + ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料 +ﾎﾟﾘ ｳﾚﾀﾝ樹脂塗料 中・上		100	－
関西ペイント	KP-1 (C-2)	K-3	●	４工程			●	ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料→厚膜形ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料 ﾎﾟﾘｳﾚﾀﾝ樹脂塗料中・上→中上兼用ｴﾎﾟｷｼｼﾘｺﾝ樹脂塗料	79	21%
	KP-2 (C-2)	K-6	●	３工程			●	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ→高摩擦有機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料→厚膜形ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料 ﾎﾟﾘｳﾚﾀﾝ樹脂塗料中・上→中上兼用ｴﾎﾟｷｼｼﾘｺﾝ樹脂塗料	65	35%
大日本塗料	DNT-１ (C-2)	D-2	●	３工程	●	270μm	●	無機ｼﾞﾝｸ→高摩擦有機ｼﾞﾝｸ ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料→厚膜形ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料 ﾎﾟﾘｳﾚﾀﾝ樹脂塗料中・上→厚膜形ﾎﾟﾘｳﾚﾀﾝ樹脂塗料	69	31%
	DNT-２ (C-2)	D-5	●	５工程			●	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ→高摩擦有機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ 強溶剤形→弱溶剤形	85	15%

（注） 1) 基準となる塗装仕様および提案塗装仕様の個別詳細内容は各社の報告資料に記載しており、●印は該当するコスト削減手法をあらわす。
2) 削減率：便覧Ｃ－２塗装系を１００とした場合の指数で、塗料材料費と塗装費の合計費用での比較。

表－3.2　外面用便覧 C-4 塗装系対応

塗料メーカー	提案塗装系№	試験板№	コスト削減手法						コスト指数と削減率（注2）	
			工程短縮（省工程）		塗膜厚		塗料品種		コスト指数	削減率
基準	C-4塗装系	K-C-4	6工程		250μm		無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ＋ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料＋ふっ素樹脂塗料中・上		100	－
関西ペイント	KP-1 (C-4)	K-14	●	4工程			●	ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料→厚膜形ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料 ふっ素樹脂塗料中・上→厚膜形ふっ素樹脂塗料 強溶剤形→弱溶剤形	91	9%
	KP-2 (C-4)	K-15	●	3工程			●	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ→高摩擦有機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料→厚膜形ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料 ふっ素樹脂塗料中・上→厚膜形ふっ素樹脂塗料 強溶剤形→弱溶剤形	78	22%
神東塗料	ST-1 (C-4)	S-1	●	4工程	●	255μm	●	ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料→低溶剤変性ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料 ふっ素樹脂塗料中･上→厚膜ｼﾘｺﾝｱｸﾘﾙ樹脂塗料	82	18%
	ST-2 (C-4)	S-2	●	3工程	●	285μm	●	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ→高摩擦有機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料→低溶剤変性ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料 ふっ素樹脂塗料中･上→厚膜ｼﾘｺﾝｱｸﾘﾙ樹脂塗料	71	29%
大日本塗料	DNT-1 (C-4)	D-3	●	3工程	●	270μm	●	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ→高摩擦有機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料→厚膜形ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料 ふっ素樹脂塗料中・上→厚膜形	74	26%
	DNT-2 (C-4)	D-4	●	4工程			●	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ→高摩擦有機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料→厚膜形ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料 ふっ素樹脂塗料中・上→高耐候形２回	86	14%
中国塗料	CMP-1 (C-4)	C-1	●	4工程			●	ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料→厚膜形変性ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料 ふっ素樹脂塗料中・上→厚膜形ふっ素樹脂塗料	92	8%
	CMP-2 (C-4)	C-2	●	4工程	●	213μm	●	ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料→変性ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料 ふっ素樹脂塗料中・上→厚膜形ふっ素樹脂塗料	87	13%
	CMP-3 (C-4)	C-3	●	4工程	●	188μm	●	ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料→変性ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料 ふっ素樹脂塗料中・上→厚膜形ふっ素樹脂塗料	84	16%
	CMP-4 (C-4)	C-4	●	4工程	●	163μm	●	ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料→変性ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料 ふっ素樹脂塗料中・上→厚膜形ふっ素樹脂塗料	81	19%
	CMP-5 (C-4)	C-5	●	4工程	●	230μm	●	ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料→厚膜形変性ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料 ふっ素樹脂塗料中・上→無機質系	88	12%
	CMP-6 (C-4)	C-6	●	3工程	●	225μm	●	ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料→ﾐｽﾄｺｰﾄ・下塗兼用 ふっ素樹脂塗料中・上→厚膜形ふっ素樹脂塗料	92	8%
日本ペイント	NP-1 (C-4)	N-2	●	5工程			●	ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料→省検査形厚膜ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	96	4%
	NP-2 (C-4)	N-7	●	4工程			●	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ→高摩擦有機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料→省検査形厚膜ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	91	9%

(注)　1) 基準となる塗装仕様および提案塗装仕様の個別詳細内容は各社の報告資料に記載しており、●印は該当するコスト削減手法をあらわす。
2) 削減率：便覧Ｃ－４塗装系を１００とした場合の指数で、塗料材料費と塗装費の合計費用での比較。

表－3.3　内面用便覧 D-4 塗装系対応

塗料メーカー	提案塗装系№	試験板№	コスト削減手法						コスト指数と削減率（注２）	
			工程短縮（省工程）		塗膜厚		塗料品種		コスト指数	削減率
基準	D-4塗装系	C-D-4	２工程		240μm		変性ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料　（内面用）		100	－
中国塗料	CMP-1 (D4)	C-8	●	１工程	●	200μm	●	変性ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料→厚膜形変性ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	66	34%
日本ペイント	NP-1 (D4)	N-21	●	１工程			●	変性ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料→省検査形厚膜ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	93	7%

(注)　1) 基準となる塗装仕様および提案塗装仕様の個別詳細内容は各社の報告資料に記載しており、●印は該当するコスト削減手法をあらわす。
2) 削減率：便覧Ｄ－４塗装系を１００とした場合の指数で、塗料材料費と塗装費の合計費用での比較。

（コストの計算基準）

①算出に当たっての参考資料

○塗料及びシンナー代
建設物価（2003年1月号）
但し、条件は以下の通り
・価格：関東地区
・塗色：淡彩色
なお、各社独自性のある塗料に関しては、各社の積算価格等から算出する。

○塗装費
建設物価技術資料（1998/1 No.159）

②算出に用いる数値

○塗料代

塗料種	価格（円/kg）
無機ジンクリッチペイント	950
有機ジンクリッチペイント	885
エポキシ樹脂塗料下塗り	980
変性エポキシ樹脂塗料下塗リ	980
中上兼用塗料	2500
ポリウレタン樹脂塗料用中塗り	1160
ポリウレタン樹脂塗料上塗り	1555
アクリルシリコン樹脂塗料中塗り	1220
アクリルシリコン樹脂塗料上塗り	2750
ふっ素樹脂塗料中塗り	1275
ふっ素樹脂塗料上塗り	4245

ミストコート用の塗料は次工程に使用する
塗料を160g/㎡使用

○シンナー代

溶剤種	価格（円/kg）
無機ジンクリッチ用シンナー	350
有機ジンクリッチ用シンナー	330
エポキシ樹脂塗料用シンナー	320
ポリウレタン樹脂塗料用シンナー	380
アクリルシリコン樹脂塗料用シンナー注1)	380
ふっ素樹脂塗料用シンナー注1)	380
塗料用シンナー	90
上水注2)	0

注1)：ポリウレタン樹脂塗料用シンナーと同等とした。
注2)：1t当たり176円（平均額）のため、1kg　0と示す。

清掃・ケレンや補修塗り・駄目拾いなどは無視する。

○塗装費

新けた塗装

工場塗装

工程	費用(円/㎡)
下塗り(第1層及び第2層)	386
中塗り	386
上塗り	386

ジンクリッチペイントに関しては明確な塗装費
が掲載されていないため下塗と同じとする。

現場塗装

工程	費用(円/㎡)
下塗り(第2層又は第3層)	643
中塗り	599
上塗り	599

塗替えけた塗装

新設現場塗装及び塗替一般部塗装

工程	費用(円/㎡)
下塗り	643
中塗り	599
上塗り	599

ジンクリッチペイントに関しては明確な塗装費
が掲載されていないため下塗と同じとする。

密閉部

工程	費用(円 /㎡)
下塗り	1285
中塗り	1229
上塗り	1229

３．２　試験内容・目的と試験方法

試験内容、試験目的および試験方法の一覧を表－3.4 に示す。

表－3.4　試験内容、試験目的および試験方法

試験内容		試験目的	試験方法	具体的方法
耐久性試験	屋外暴露試験	耐候性 防食性	沖縄暴露	資料－１
			つくば暴露	
	促進試験	促進防食性	土研式ＣＣＴ	資料－２
			ＪＩＳ式ＣＣＴ	
		促進耐候性	キセノンランプ法	資料－３
		耐湿性	ＪＩＳ法（回転式）	資料－４
	塗膜表面観察	表面状態変化	電子顕微鏡観察	資料－５
			ＩＲによる組成変化	
塗膜性能試験		電気性能	インピーダンス法	資料－６
			直流抵抗値	資料－７
		環境遮断性	酸素透過性	資料－８
			透湿度	資料－９
		塗膜物性	破断ひずみ （塗膜伸び率）	資料－10
			破断応力 （塗膜破断強度）	
			応力緩和能	

３．２．１　屋外暴露試験

（１）試験目的と試験場所

塗膜の耐候性と防食性を確認するために、環境・気象条件が異なる下記の屋外暴露試験場にて試験を行った。詳細内容については資料－１(屋外暴露試験)を参照のこと。

①亜熱帯環境/海浜地区である沖縄県大宜味村にある沖縄建設材料耐久性試験施設

②温帯環境/内陸地区である茨城県つくば市にあるつくば建設材料耐久性試験施設

（２）試験片の作製

１）試験板

試験板は JIS K 5600-1-4 に規定された材料(鋼板の厚さ 3㎜ 以上は JIS G 3101 に規定する SS400)を用い、ブラスト洗浄によって調整した鋼板(300㎜×200㎜×3.2㎜)とした。

ブラストの条件は下記による。

除せい度：ISO 8501-1 Sa2 1/2

研掃材　：硅砂

表面粗さ：25μm Rzjis 目標

（注）Rzjis（十点平均粗さ）について；

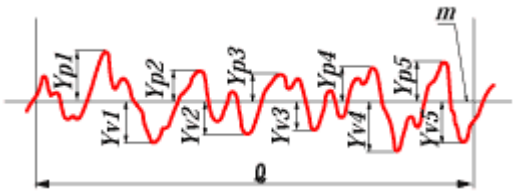
表面粗さに関する JIS 規格は、国際規格に整合化することを目的として、2001 年に JIS B 0601 を含む規格が改正され、旧規格の最大高さ Ry が、高さ方向の軸であることから最大高さ粗さ Rz に変更された。十点平均粗さ Rz は規格から削除され、旧規格の十点平均粗さ Rz を Rzjis として区別することになった。

（求め方）　JIS B 0601-1994 解説より

粗さ曲線からその平均線の方向に基準長さだけを抜き取り、この抜き取り部分の平均線から縦倍率の方向に測定した、最も高い山頂から 5 番目までの山頂の標高（Yp）の絶対値の平均値と、もっとも低い谷底から 5 番目までの谷底の標高(Yv)の絶対値の平均値との和を求め、この値をマイクロメートル（μm）で表したものをいう。

$$Rzjis = \frac{(Yp1+Yp2+Yp3+Yp4+Yp5)+(Yv1+Yv2+Yv3+Yv4+Yv5)}{5}$$

（求め方の例）



Yp1, Yp2, Yp3, Yp4, Yp5：基準長さℓに対する抜取り部分の、最も高い山頂から 5 番目までの山頂の標高

Yv1, Yv2, Yv3, Yv4, Yv5：基準長さℓに対する抜取り部分の、最も低い谷底から 5 番目までの谷底の標高

２）塗装

各塗料メーカーが提案する塗装系及び便覧塗装系に準じて、第１層から最終層までを各々規定膜厚になるようにスプレー塗りにて塗装した。各工程の塗装間隔は１日以上とし、最終上塗りの色は白(N-9.5 近似)とした。

（３）評価項目と方法

下記の項目について、試験前(初期)および試験開始後定期的に評価を行った。

１）塗膜外観観察

①一般部

目視観察にて、膨れ、さび、割れ、はがれなどの塗膜欠陥の有無を評価した。

欠陥がある場合はその程度も調べ、評価基準は JIS K 5600 8-2～5 に準じた。

②カット部

カット部からの膨れ発生幅(片側侵入幅で最大値を記録)を評価した。

２）塗膜表面観察

塗膜の表面劣化状態を走査型電子顕微鏡(SEM)、表面樹脂の劣化状態をフーリエ変換赤外分光光度計(FT-IR)を用いてＡＴＲ法で観察した。

観察装置の詳細内容は資料－５(塗膜表面観察装置)を参照のこと。

３）付着性

テープ付着試験(碁盤目法・5㎜ 升目 9 目)と引張り付着試験(プルオフ法)にて付着性（テープはく離後の残存目数）および付着強度(kgf/㎠　0.1MPa)を評価した。

４）光沢度

ＢＹＫマイクログロス 60°,20°を用いて塗膜の水洗前後の 60 度鏡面光沢度を測定し、塗膜の光沢保持率を評価した。

５）色差

コニカミノルタ色差計ＣＲ-300 を用いて塗膜の水洗前後のＬ*、ａ*、ｂ*を測定し、色差(ΔＥ*$_{ab}$)を求めて色の変化度合いを評価した。

６）インピーダンス

インピーダンスメーターＤ-55 Ａを用いて塗膜の交流抵抗、静電容量を測定・評価した。

測定方法や測定原理の詳細内容は資料－６（インピーダンス試験装置）を参照のこと。

７）直流抵抗値

高抵抗計 Model6517A を用いて直流抵抗値を測定・評価した。

測定方法や測定原理の詳細内容は資料－７(塗膜抵抗測定装置)を参照のこと。

３．２．２　複合サイクル試験（Combined Cyclic Corrosion Test、以下 CCT と記す）

（１）試験目的と試験方法

塗膜の防食性を短時間で評価するために、塩水噴霧・乾燥・湿潤のサイクル試験環境での耐久性を確認した。方法としては、試験条件が異なる土木研究所式とＪＩＳ式２つの試験を用いた。詳細内容については資料－２(複合サイクル試験装置)を参照のこと。

（２）試験片の作製

３．２．１（２）に準じるが、鋼板のサイズは 150㎜×70㎜×3.2㎜ とした。

（３）評価項目と方法

下記の項目について、試験前(初期)および試験開始後定期的に評価を行った。

１）塗膜外観観察

① 一般部：

目視観察にて、膨れ、さび、割れ、はがれなどの塗膜欠陥の有無を評価した。

欠陥がある場合はその程度も調べ、評価基準は JIS K 5600 8-2～5 に準じた。

② カット部：

カット部からの膨れ発生幅(片側侵入幅で最大値を記録)を評価した。

２）付着性：

引張り付着試験（プルオフ法）にて付着強度(kgf/㎠　0.1MPa)を評価した。

３．２．３　促進耐候性試験

（１）試験目的と試験方法

塗膜の耐候性を短時間で評価するために、キセノンランプ法により確認した。
試験装置は２灯式スーパーキセノンウェザーメーターＳＸ２-75 型を用いた。
詳細内容については資料－３(促進耐候性試験装置)を参照のこと。

（２）試験片の作製
３．２．２（２）に準じた。

（３）評価項目と方法
下記の項目について、試験前(初期)および試験開始後定期的に評価を行った。
１）光沢度
ＢＹＫマイクログロス 60°,20°を用いて塗膜の水洗前後の 60 度鏡面光沢度を測定し、塗膜の光沢保持率を評価した。

３．２．４　耐湿性試験
（１）試験目的と試験方法
耐湿試験装置を用いて、塗膜の連続結露に対する抵抗性を確認した。
ただし、本試験は内面用塗装系の評価に適用した。
試験条件等の詳細内容は資料４(耐湿試験装置)を参照のこと。

（２）試験片の作製
３．２．２（２）に準じた。

（３）評価項目と方法
下記の項目について、試験前(初期)および試験開始後定期的に評価を行った。
１）塗膜外観観察
目視観察にて、膨れ、はがれ、割れ、さびなどの塗膜欠陥の有無を評価した。
欠陥がある場合はその程度も調べ、評価基準は JIS K 5600 8-2～5 に準じた。
２）付着性
引張り付着試験(プルオフ法)にて付着強度(kgf/㎠　0.1MPa)を評価した。

３．２．５　塗膜性能試験
塗膜の重要な防食機能の一つに環境遮断能があり、環境中に含まれる各種腐食性物質の侵入を防止する作用である。また、塗膜の持つ物性把握も劣化のメカニズムを知る上では大変重要である。このことから、一つの試みとして、金属をさびさせる腐食因子となる酸素や水分(水蒸気)の塗膜透過性を判断できる塗膜の環境遮断性(酸素透過性・透湿度)、塗膜に変形、負荷が加えられた場合の挙動を把握する力学的塗膜物性（破断ひずみ・破断応力・応力緩和能）など各種塗装系の塗膜特性を評価し、塗膜特性と塗膜の防食性能との関係把握を調査した。なお、測定は室温で１～２ケ月乾燥・養生させた塗膜を用いた。

また、鋼構造物塗装の性能に関して、便覧Ｃ塗装系と同等以上の防食性能を有する塗膜環境遮断性の目安として、酸素透過係数が 10^{-11}cm^3(STP)cm/cm^{2}sec.cmHg 以下、水蒸気透過度（透湿度）が 2g/m^2・24h 以下が提案されている[1)]。

（１）酸素透過性

ツクバリカセイキ製Ｋ-316 フィルム酸素透過率計を用いて測定した。

試験用塗膜フィルムはジンクリッチペイントを除いた複合塗膜(下塗+中塗+上塗)を用い、サイズはφ18 ㎜とした。

測定機器や測定原理の詳細内容は資料－８(酸素透過性測定装置)を参照のこと。

（２）透湿度(水蒸気透過度)

JIS Ｋ 7129（A 法）に規定された感湿センサーで測定する Lyssy 製 L80-4000 型水蒸気透過度計を用いて測定した。

試験用塗膜フィルムはジンクリッチペイントを除いた複合塗膜（下塗+中塗+上塗）を用い、サイズは 110㎜×110㎜ 以上（測定面積：80㎜φ）とした。

測定機器や測定原理の詳細内容は資料－９（水蒸気透過度測定装置）を参照のこと。

（３）塗膜物性

小型卓上試験機 EZ test を用いて、塗膜を上に引張った時の応力変化（破断ひずみ・破断応力）および塗膜に一定の負荷をかけて経時での応力残存率を測定し、応力残存率が 50%になるまでの時間（半減期）を求めた。

試験用塗膜フィルムはジンクリッチペイントを除いた複合塗膜(下塗+中塗+上塗)を用い、サイズは 40㎜×5㎜（試験長さは 20㎜）とした。

測定機器や測定原理の詳細内容は資料 10(塗膜力学特性測定装置)を参照のこと。

なお、測定条件は次の通りとした。

①破断ひずみ・破断応力測定時の引張り速度：10㎜/分

②応力緩和能測定時の測定開始時応力負荷：長さ(20㎜)の 1%、すなわち、0.2㎜ になるようにセッティングした。

３．２．６　試験方法、評価方法および評価基準に関する関連規格

試験方法、評価方法および評価基準については、各関連規格に基づいて行った。

各試験方法、評価方法および評価基準を参考文献に示す。

参考文献

１）守屋進：鋼構造物塗装の性能規定化、鋼橋塗装 Vol.29 №１（2001）

参考資料

（１）試験方法

①JIS K 5600-7-2

「塗料一般試験方法　第７部：塗膜の長期耐久性－第２節：耐湿性(連続結露法)」

②JIS K 5600-7-6

「塗料一般試験方法　第７部：塗膜の長期耐久性－第６節：屋外暴露耐候性」

③JIS K 5600-7-7

「塗料一般試験方法　第７部：塗膜の長期耐久性－第７節：促進耐候性(ｷｾﾉﾝﾗﾝﾌﾟ法)」

④JIS K 5600-7-9

「塗料一般試験方法　第７部：塗膜の長期耐久性　第９節：サイクル腐食試験方法－塩水噴霧/乾燥/湿潤」

⑤JIS K 7129

「プラスチックフィルム及びシートの水蒸気透過度試験方法(機械測定法)」

（２）評価方法・評価基準

①JIS K 5600-4-6

「塗料一般試験方法　第４部：塗膜の視覚特性－第６節：測色(色差の計算)」

②JIS K 5600-4-7

「塗料一般試験方法　第４部：塗膜の視覚特性－第７節：鏡面光沢度」

③JIS K 5600-5-6

「塗料一般試験方法　第５部：塗膜の機械的性質－第６節：付着性(ｸﾛｽｶｯﾄ法)」

④JIS K 5600-5-7

「塗料一般試験方法　第５部：塗膜の機械的性質－第７節：付着性(ﾌﾟﾙｵﾌ法)」

⑤JIS K 5600-8-2

「塗料一般試験方法　第８部：塗膜劣化の評価－第２節：膨れの等級」

⑥JIS K 5600-8-3

「塗料一般試験方法　第８部：塗膜劣化の評価－第３節：さびの等級」

⑦JIS K 5600-8-4

「塗料一般試験方法　第８部：塗膜劣化の評価－第４節：割れの等級」

⑧JIS K 5600-8-5

「塗料一般試験方法　第８部：塗膜劣化の評価－第５節：はがれの等級」

⑨JSS IV 03-1993

「鋼橋塗膜調査マニュアル」

４．関西ペイント株式会社　提案塗装系と試験結果

４．１　提案塗装系

表－4.1 および表－4.2 に、便覧 C-2 塗装系対応、便覧 C-4 塗装系対応の関西ペイント(株)提案塗装系を示す。

表－4.1　便覧 C-2 塗装系対応

（無機ジンクリッチペイント+エポキシ樹脂塗料＋ポリウレタン樹脂塗料中塗・上塗）

提案塗装系№	試験板№	コンセプト	コスト指数	塗装系						
				第１層目	第２層目	第３層目	第４層目	第５層目	第６層目	合計膜厚（μm）
便覧C-2（基準）	D-C-2	-	100	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ（75μm）	ミストコート（―）	ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料下塗（60μm）	ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料下塗（60μm）	ﾎﾟﾘｳﾚﾀﾝ樹脂塗料用中塗（30μm）	ﾎﾟﾘｳﾚﾀﾝ樹脂塗料上塗（25μm）	250
KP-1（C-2）	K-3	厚膜型ｴﾎﾟｷｼ下塗と中塗上塗兼用塗料の組合せによる工程短縮	79（21%減）	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ（75μm）	ミストコート（―）	厚膜型ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料下塗（120μm）	中塗上塗兼用ｴﾎﾟｷｼｼﾘｺﾝ塗料（55μm）	―	―	250
KP-2（C-2）	K-6	高摩擦有機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄと中塗上塗兼用塗料の組合せによる工程短縮	65（35%減）	高摩擦有機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ（75μm）	厚膜型ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料下塗（120μm）	中塗上塗兼用ｴﾎﾟｷｼｼﾘｺﾝ塗料（55μm）	―	―	―	250

（注）コスト指数について（算出基準は共通編のコスト計算基準を参照のこと）

提案塗装系№	試験板№	コンセプト	コスト（円/㎡：材工（塗料＋シンナー＋塗装費）込み）							
			第１層目	第２層目	第３層目	第４層目	第５層目	第６層目	合計金額	ｺｽﾄ指数
便覧C-2（基準）	D-C-2	-	1063	816	685	685	586	591	4427	100
KP-1（C-2）	K-3	厚膜型ｴﾎﾟｷｼ下塗と中塗上塗兼用塗料の組合せによる工程短縮	1063	568	944	890	―	―	3465	78
KP-2（C-2）	K-6	高摩擦有機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄと中塗上塗兼用塗料の組合せによる工程短縮	1017	944	890	―	―	―	2851	64

表－4.2　便覧 C-4 塗装系対応

（無機ジンクリッチペイント+エポキシ樹脂塗料＋ふっ素樹脂塗料中塗・上塗）

提案塗装系№	試験板№	コンセプト	コスト指数	塗装系						
				第１層目	第２層目	第３層目	第４層目	第５層目	第６層目	合計膜厚（μm）
便覧C-4（基準）	K-C-4	―	100	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ（75μm）	ミストコート（―）	ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料下塗（60μm）	ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料下塗（60μm）	ふっ素樹脂塗料用中塗（30μm）	ふっ素樹脂塗料上塗（25μm）	250
KP-1（C-4）	K-14	厚膜型弱溶剤可溶塗料の組み合せによる工程短縮	91（9%減）	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ（75μm）	ミストコート（―）	弱溶剤可溶厚膜型 ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料下塗（125μm）	弱溶剤可溶厚膜型ふっ素樹脂塗料上塗（50μm）	―	―	250
KP-2（C-4）	K-15	高摩擦有機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄと厚膜型弱溶剤可溶塗料の組合せによる工程短縮	78（22%減）	高摩擦有機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ（75μm）	弱溶剤可溶厚膜型 ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料下塗（125μm）	弱溶剤可溶厚膜型ふっ素樹脂塗料上塗（50μm）	―	―	―	250

（注）コスト指数について（算出基準は共通編のコスト計算基準を参照のこと）

提案塗装系№	試験板№	コンセプト	コスト（円/㎡：材工（塗料＋シンナー＋塗装費）込み）							
			第１層目	第２層目	第３層目	第４層目	第５層目	第６層目	合計金額	ｺｽﾄ指数
便覧C-4（基準）	K-C-4	―	1063	568	685	685	605	983	4590	100
KP-1（C-4）	K-14	厚膜型弱溶剤可溶塗料の組み合せによる工程短縮	1063	550	952	1576	―	―	4141	90
KP-2（C-4）	K-15	高摩擦有機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄと厚膜型弱溶剤可溶塗料の組合せによる工程短縮	1018	952	1576	―	―	―	3546	77

※ミストコートについて
・ミストコート用の塗料は次工程に使用する塗料を160g/㎡使用
・ミストコート用のシンナーはミストコートに用いる塗料用のシンナーを50%希釈して使用

※計算例[KP-提案1 (C2)の第1層目]
塗料代＋ｼﾝﾅｰ代＋塗装費
0.7kg/㎡×950円/kg ＋ 0.7kg/㎡×5%×350円/kg ＋ 386円/㎡ = 1063円/㎡

４．２　試験結果

４．２．１　屋外暴露試験

（１）塗膜外観および付着性

１）便覧 C-2 対応塗装系

屋外暴露試験３年間の塗膜外観観察および付着性評価結果を表－4.3～表－4.4 に、記録写真(表面)を写真－4.1 に示す。

第１層目に便覧 C-2 塗装系と同様、厚膜形無機ジンクリッチペイントを用いた提案塗装系 KP-1（C-2）は、基準となる便覧 C-2 塗装系と同等の性能を示した。

しかし、第１層目に高摩擦・厚膜形有機ジンクリッチペイントを用いた提案塗装系 KP-2（C-2）は、基準となる便覧 C-2 塗装系と比較して一般部での塗膜外観や付着性は同等であるが、カット部での防食性がやや劣る傾向が見られた。

表－4.3　便覧 C-2 対応　塗膜外観・付着性（沖縄）

提案塗装系№	試験板№	繰り返し数	塗板の表裏	塗膜外観観察						付着性試験			
				１年後		２年後		３年後		引張り付着強度		テープ付着（碁盤目）	
				一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	MPa	はく離箇所	残升目	はく離箇所
便覧C-2（基準）	D-C-2	1	表	○	0mm	○	0mm	○	0mm	1.5	接100%	8/9	素地/下塗100%
			裏	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
		2	表	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
			裏	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
KP-１（C-2）	K-3	1	表	○	0mm	○	0mm	○	0mm	1.8	接95% ｼﾞﾝｸ5%	9/9	－
			裏	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
		2	表	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
			裏	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
KP-２（C-2）	K-6	1	表	○	0mm	○	0mm	○	0mm	2.5	ｼﾞﾝｸ100%	9/9	－
			裏	○	0mm	○	3mm	○	5mm				
		2	表	○	0mm	○	0mm	○	5mm				
			裏	○	0mm	○	2mm	○	5mm				

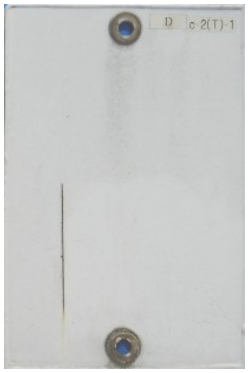
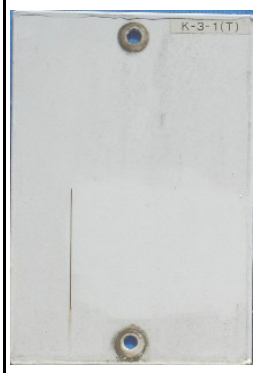
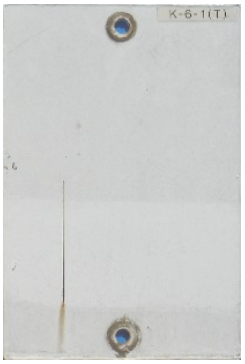
(注)　塗膜外観　　○：異状なし

はく離箇所　接：接着面、　　ｼﾞﾝｸ：ｼﾞﾝｸ塗膜内凝集破壊、　　素地/下塗：素地と下塗の層間

表－4.4　便覧 C-2 対応　塗膜外観（つくば）

提案塗装系№	試験板№	繰り返し数	塗板の表裏	塗膜外観観察			
				２年後		３年後	
				一般部	カット部	一般部	カット部
便覧C-2（基準）	D-C-2	1	表	○	0mm	○	0mm
			裏	○	0mm	○	0mm
		2	表	○	0mm	○	0mm
			裏	○	0mm	○	0mm
KP-１（C-2）	K-3	1	表	○	0mm	○	0mm
			裏	○	0mm	○	0mm
		2	表	○	0mm	○	0mm
			裏	○	0mm	○	0mm
KP-２（C-2）	K-6	1	表	○	0mm	○	0mm
			裏	○	0mm	○	3mm
		2	表	○	0mm	○	0mm
			裏	○	0mm	○	2mm

(注)　塗膜外観　　○：異状なし

提案塗装系№ および 試験板№	沖縄		つくば
	繰り返し1	繰り返し2 （付着試験後）	
基準 D-C-2			
KP-１(C-2) K-3			
KP-2 (C-2) K-6			

写真－4.1　便覧 C-2 対応　記録写真（表面）

２）便覧 C-4 対応塗装系

屋外暴露試験３年間の塗膜外観観察および付着性評価結果を表－4.5～表－4.6 に、記録写真(表面)を写真－4.2 に示す。

第１層目に便覧 C-4 塗装系と同様、厚膜形無機ジンクリッチペイントを用いた提案塗装系 KP-1（C-4）は、基準となる便覧 C-4 塗装系と同等レベルの性能を呈していた。

しかし、第１層目に高摩擦・厚膜形有機ジンクリッチペイントを用いた提案塗装系 KP-2（C-4）は、基準となる便覧 C-4 塗装系と比較して一般部での塗膜外観や付着性は同等であるが、カット部での防食性がやや劣る傾向が見られた。

表－4.5　便覧 C-4 対応　塗膜外観・付着性（沖縄）

提案塗装系№	試験板№	繰り返し数	塗板の表裏	塗膜外観観察						付着性試験			
				１年後		２年後		３年後		引張り付着強度		テープ付着（碁盤目）	
				一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	MPa	はく離箇所	残升目	はく離箇所
便覧C-４（基準）	K-C-4	1	表	○	0mm	○	0mm	○	0mm	5.0	接100%	9/9	－
			裏	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
		2	表	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
			裏	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
KP-１（C-4）	K-14	1	表	○	0mm	○	0mm	○	0mm	3.0	下塗95% ｼﾞﾝｸ5%	9/9	－
			裏	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
		2	表	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
			裏	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
KP-2（C-4）	K-15	1	表	○	0mm	○	0mm	○	2mm	3.0	下塗100%	9/9	－
			裏	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
		2	表	○	0mm	○	0mm	○	1mm				
			裏	○	0mm	○	0mm	○	2mm				

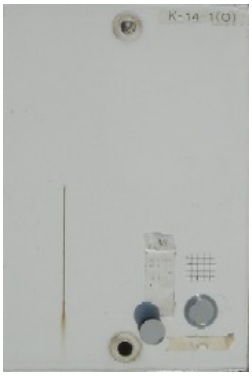
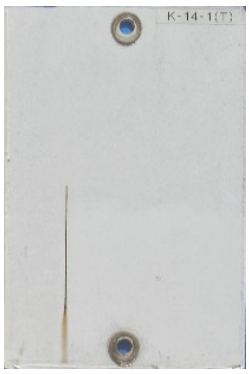
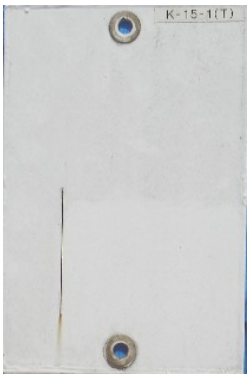
(注)　塗膜外観　　○：異状なし

はく離箇所　接：接着面、　　ｼﾞﾝｸ：ｼﾞﾝｸ塗膜内凝集破壊、　下塗：下塗塗膜内凝集破壊

表－4.6　便覧 C-4 対応　塗膜外観（つくば）

提案塗装系№	試験板№	繰り返し数	塗板の表裏	塗膜外観観察			
				２年後		３年後	
				一般部	カット部	一般部	カット部
便覧C-４（基準）	K-C-4	1	表	○	0mm	○	0mm
			裏	○	0mm	○	0mm
		2	表	○	0mm	○	0mm
			裏	○	0mm	○	0mm
KP-１（C-4）	K-14	1	表	○	0mm	○	0mm
			裏	○	0mm	○	0mm
		2	表	○	0mm	○	0mm
			裏	○	0mm	○	0mm
KP-2（C-4）	K-15	1	表	○	1mm	○	2mm
			裏	○	1mm	○	0mm
		2	表	○	0mm	○	1mm
			裏	○	0mm	○	2mm

(注)　塗膜外観　　○：異状なし

提案塗装系№ および 試験板№	沖縄		つくば
	繰り返し1	繰り返し2 （付着試験後）	
基準 K-C-4			
KP-１(C-4) K-14			
KP-2(C-4) K-15			

写真－4.2　便覧 C-4 対応　記録写真（表面）

（２）光沢度

１）便覧 C-2 対応塗装系

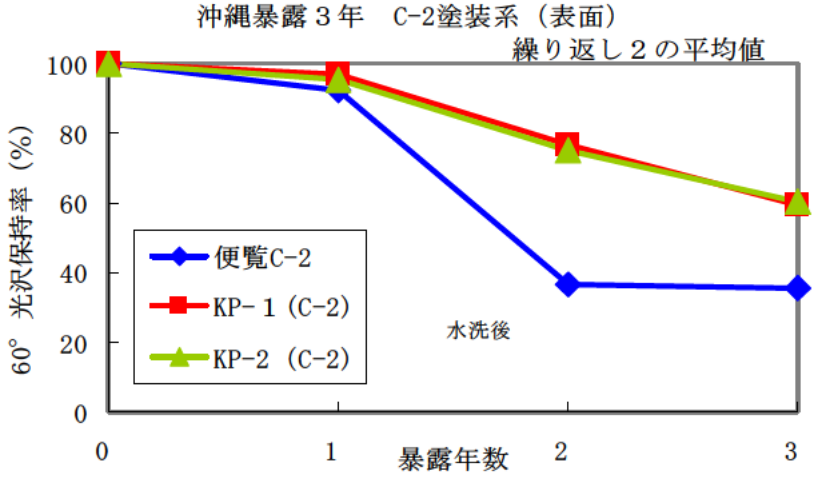
光沢度(60 度鏡面光沢度)の評価結果を表－4.7～表－4.8 と図－4.1～図－4.2 に示す。

提案塗装系 KP-1（C-2）および KP-2（C-2）とも同一の上塗り塗料である。

基準となる便覧 C-2 塗装系と比較して、両提案塗装系とも、つくばでは同等以上、沖縄では優れた暴露耐候性を示した。

表－4.7　便覧 C-2 対応　光沢度（沖縄）

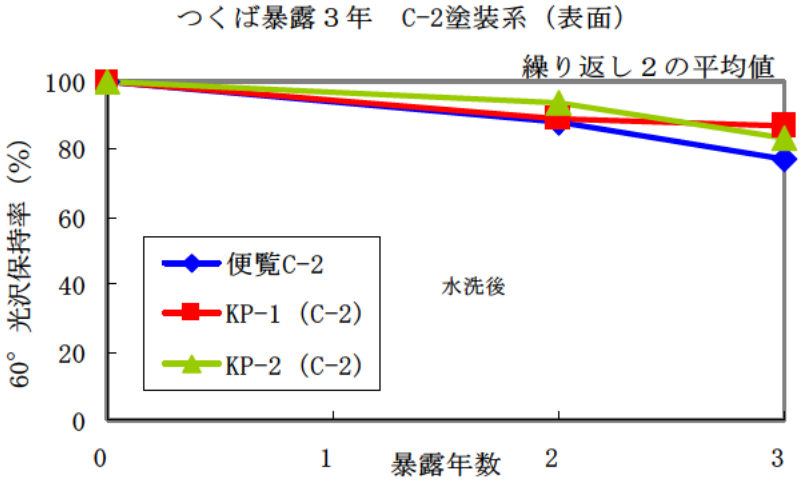
提案塗装系 No.	試験板 No.	表裏	初期値	沖縄暴露３年後			
				水洗前		水洗後	
				光沢度	保持率	光沢度	保持率
便覧 C-2（基準）	D-C-2	表	86.9	19.9	21.4	34.9	35.6
			88.3	18.3		28.5	
			89.2	18.5		30.8	
		平均値	88.1	18.9		31.4	
		裏	89.6	71.6	78.4	85.4	94.9
			89.7	73.6		84.7	
			89.2	65.4		84.6	
		平均値	89.5	70.2		84.9	
KP-1（C-2）	K-3	表	87.9	45.0	50.6	49.1	59.2
			86.8	43.2		51.7	
			84.9	43.2		52.8	
		平均値	86.5	43.8		51.2	
		裏	83.2	70.4	85.5	77.6	87.5
			83.2	71.3		69.4	
			84.8	73.0		72.9	
		平均値	83.7	71.6		73.3	
KP-2（C-2）	K-6	表	79.7	34.0	43.6	48.3	60.4
			76.8	34.4		47.5	
			78.1	34.0		45.9	
		平均値	78.2	34.1		47.2	
		裏	85.4	78.4	87.1	80.1	93.9
			84.6	73.9		79.5	
			85.7	70.3		80.5	
		平均値	85.2	74.2		80.0	



図－4.1　便覧 C-2 対応　光沢保持率（沖縄）

表－4.8　便覧 C-2 対応　光沢度（つくば）

提案塗装系 No.	試験板 No.	表裏	初期値	つくば暴露 3 年後			
				水洗前		水洗後	
				光沢度	保持率	光沢度	保持率
便覧C-2（基準）	D-C-2	表	87.4	49.7	55.4	58.4	65.2
			89.0	48.4		57.5	
			89.2	49.1		57.3	
		平均値	88.5	49.1		57.7	
		裏	88.8	84.5	96.8	86.1	97.5
			89.5	86.8		86.3	
			86.2	84.7		85.5	
		平均値	88.2	85.3		86.0	
KP-1（C-2）	K-3	表	81.1	60.0	70.8	71.7	88.5
			83.5	53.0		72.9	
			80.7	60.7		72.6	
		平均値	81.8	57.9		72.4	
		裏	90.5	79.0	88.4	85.2	96.4
			89.5	79.6		88.5	
			90.0	80.2		86.6	
		平均値	90.0	79.6		86.8	
KP-2（C-2）	K-6	表	81.1	61.3	72.9	62.3	82.2
			80.5	58.4		63.5	
			79.5	56.0		72.3	
		平均値	80.4	58.6		66.0	
		裏	84.0	76.7	90.2	82.3	94.5
			85.7	75.9		81.2	
			84.2	76.5		76.5	
		平均値	84.6	76.4		80.0	



図－4.2　便覧 C-2 対応　光沢保持率（つくば）

２）便覧 C-4 対応塗装系

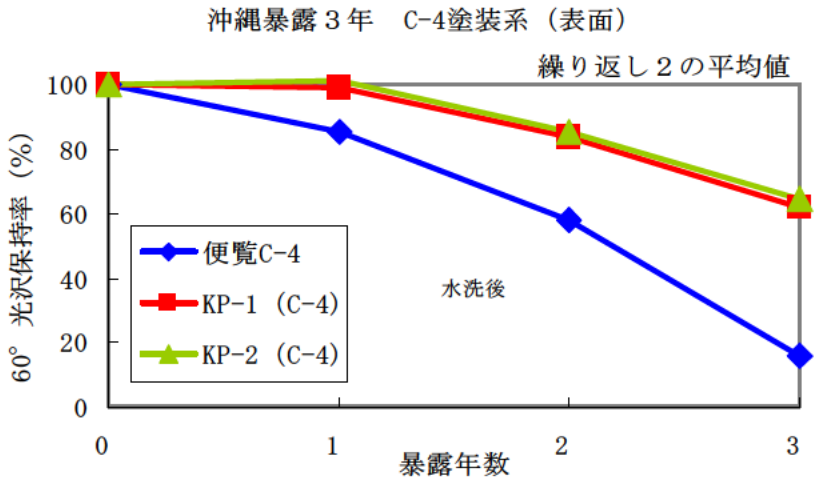
光沢度(60 度鏡面光沢度)の評価結果を表－4.9～表－4.10 と図－4.3～図－4.4 に示す。

提案塗装系 KP-1（C-4）および KP-2（C-4）とも同一の上塗り塗料である。

基準となる便覧 C-4 塗装系と比較して、両提案塗装系とも、つくばでは同等以上、沖縄では優れた暴露耐候性を示した。

表－4.9　便覧 C-4 対応　光沢度（沖縄）

提案塗装系 No.	試験板 No.	表裏	初期値	沖縄暴露３年後			
				水洗前		水洗後	
				光沢度	保持率	光沢度	保持率
便覧 C-4（基準）	K-C-4	表	75.3	17.0	21.9	11.5	15.9
			76.4	15.2		11.9	
			71.0	16.6		12.0	
		平均値	74.2	16.3		11.8	
		裏	80.1	72.5	84.2	71.1	90.3
			78.8	65.4		72.8	
			79.3	62.7		71.3	
		平均値	79.4	66.9		71.7	
KP-1（C-4）	K-14	表	82.9	47.8	58.0	51.2	61.7
			84.4	48.0		51.0	
			83.1	49.5		52.2	
		平均値	83.5	48.4		51.5	
		裏	81.3	72.9	85.6	76.0	95.4
			82.5	69.1		79.8	
			81.8	68.2		78.4	
		平均値	81.9	70.1		78.1	
KP-2（C-4）	K-15	表	81.6	43.5	58.2	49.4	64.6
			74.3	45.7		49.9	
			75.6	45.6		50.3	
		平均値	77.2	44.9		49.9	
		裏	81.6	71.8	90.1	72.8	91.5
			76.5	67.6		71.3	
			75.5	71.0		69.6	
		平均値	77.9	70.1		71.2	

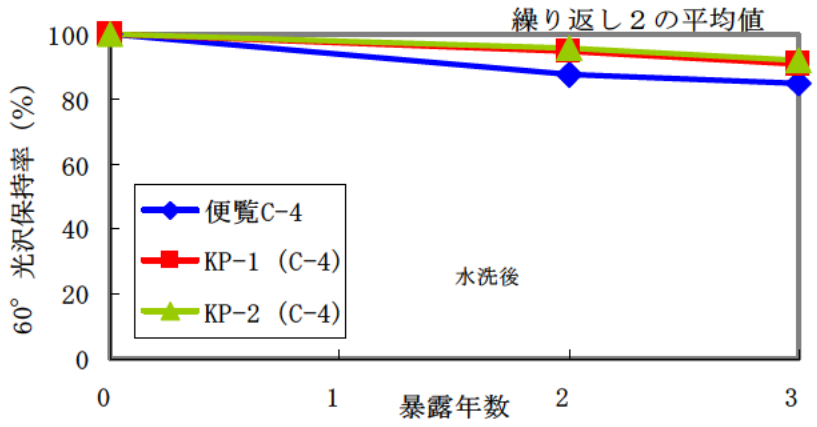


図－4.3　便覧 C-4 対応　光沢保持率（沖縄）

表－4.10　便覧 C-4 対応　光沢度（つくば）

提案塗装系No.	試験板No.	表裏	初期値	つくば暴露３年後			
				水洗前		水洗後	
				光沢度	保持率	光沢度	保持率
便覧C-4（基準）	K-C-4	表	78.2	43.0	54.8	64.9	81.2
			75.8	41.2		61.0	
			74.6	41.0		59.7	
		平均値	76.2	41.7		61.9	
		裏	77.6	71.6	91.0	73.5	93.7
			80.0	73.0		76.1	
			79.4	71.1		72.5	
		平均値	79.0	71.9		74.0	
KP-1（C-4）	K-14	表	84.3	65.4	77.4	77.3	90.7
			84.5	65.0		76.0	
			82.1	63.7		74.2	
		平均値	83.6	64.7		75.8	
		裏	81.8	77.5	94.4	79.3	96.3
			80.2	77.7		78.5	
			83.5	76.5		78.7	
		平均値	81.8	77.2		78.8	
KP-2（C-4）	K-15	表	82.6	61.8	75.5	72.9	88.4
			82.7	61.6		71.1	
			80.0	61.8		72.8	
		平均値	81.8	61.7		72.3	
		裏	84.0	80.8	95.1	81.8	97.4
			83.0	79.6		80.8	
			83.8	78.0		81.6	
		平均値	83.6	79.5		81.4	

つくば暴露３年　C-4塗装系（表面）



図－4.4　便覧 C-4 対応　光沢保持率（つくば）

（３）色差

１）便覧 C-2 対応塗装系

色差の評価結果を表－4.11～表－4.12 と図－4.5～図－4.6 に示す。

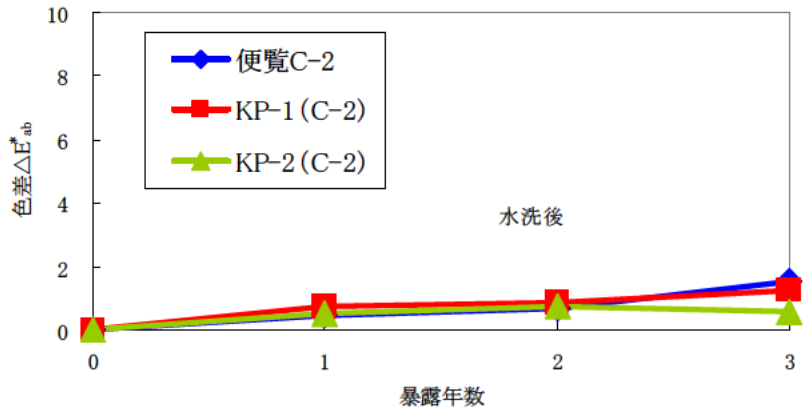
提案塗装系 KP-1（C-2）および KP-2（C-2）とも同一の上塗り塗料である。

基準となる便覧 C-2 塗装系と比較して、両提案塗装系とも、つくば、沖縄とも同等レベルを示した。

表－4.11　便覧 C-2 対応　色差（沖縄）

提案塗装系No.	試験板No.	表裏	初期値			沖縄暴露３年後								
						水洗前					水洗後				
			L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	$\triangle L^*$	$\triangle E^*_{ab}$	L^*	a^*	b^*	$\triangle L^*$	$\triangle E^*_{ab}$
便覧C-2（基準）	D-C-2	表	95.61	-0.40	0.43	94.36	-0.56	2.98	-1.62	3.15	95.54	-0.55	1.91	-0.16	1.51
			95.59	-0.41	0.38	93.60	-0.58	3.23			95.34	-0.54	1.89		
		平均値	95.60	-0.41	0.41	93.98	-0.57	3.11			95.44	-0.55	1.90		
		裏	95.11	-0.50	0.06	93.84	-0.52	2.23	-2.54	2.96	95.35	-0.50	1.35	0.13	1.35
			95.19	-0.47	0.07	91.39	-0.95	0.90			95.22	-0.51	1.47		
		平均値	95.15	-0.49	0.07	92.62	-0.74	1.57			95.29	-0.51	1.41		
KP-1（C-2）	K-3	表	95.59	-0.57	0.07	95.08	-0.61	1.55	-0.50	1.50	96.00	-0.70	1.16	0.25	1.22
			95.61	-0.55	0.07	95.11	-0.65	1.42			95.69	0.57	1.15		
		平均値	95.60	-0.56	0.07	95.10	-0.63	1.49			95.85	-0.07	1.16		
		裏	94.76	-0.73	-0.18	95.30	-0.74	0.40	-0.40	0.58	94.97	-0.75	-0.02	-0.29	0.42
			94.85	-0.66	-0.17	93.52	-0.84	0.07			94.07	-0.89	0.22		
		平均値	94.81	-0.70	-0.18	94.41	-0.79	0.24			94.52	-0.82	0.10		
KP-2（C-2）	K-6	表	95.40	-0.95	0.68	93.83	-0.64	1.76	-0.91	1.25	95.67	-0.67	0.46	0.35	0.56
			95.14	-1.11	0.95	94.90	-0.74	1.46			95.58	-0.76	0.57		
		平均値	95.27	-1.03	0.82	94.37	-0.69	1.61			95.63	-0.72	0.52		
		裏	95.68	-0.71	0.40	95.11	-0.84	1.17	-2.22	2.23	95.23	-0.79	0.23	-0.91	0.99
			95.57	-0.81	0.57	91.71	-0.95	0.33			94.19	-0.90	0.03		
		平均値	95.63	-0.76	0.49	93.41	-0.90	0.75			94.71	-0.85	0.13		

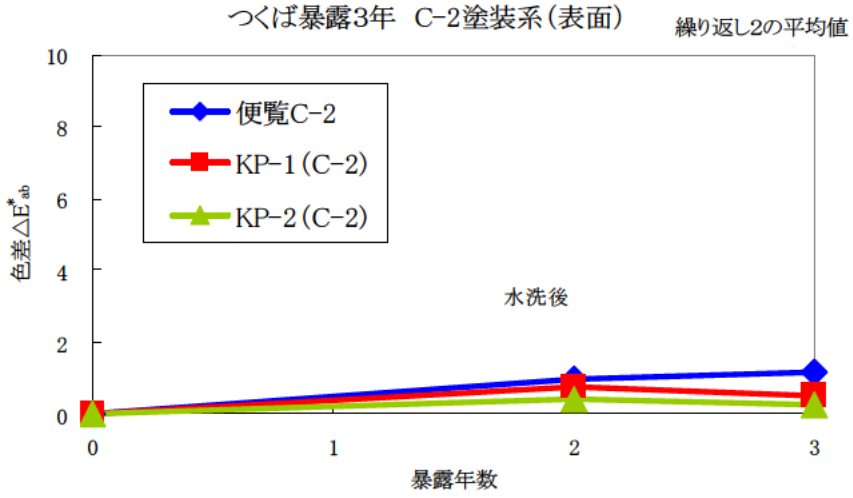
沖縄暴露3年　C-2塗装系(表面)



図－4.5　便覧 C-2 対応　色差（沖縄）

表－4.12　便覧 C-2 対応　色差（つくば）

提案塗装系No.	試験板No.	表裏	初期値			つくば暴露３年後									
						水洗前					水洗後				
			L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	$\triangle L^*$	$\triangle E^*_{ab}$	L^*	a^*	b^*	$\triangle L^*$	$\triangle E^*_{ab}$
便覧C-2（基準）	D-C-2	表	95.60	-0.36	1.56	89.23	-0.02	3.35	-6.43	6.68	93.51	-0.23	2.79	-2.00	2.30
			95.63	-0.36	1.53	89.13	-0.07	3.30			93.72	-0.24	2.55		
		平均値	95.62	-0.36	1.55	89.18	-0.05	3.33			93.62	-0.24	2.67		
		裏	94.45	-0.22	2.03	93.07	-0.28	3.09	-1.88	2.12	95.32	-0.40	2.38	0.11	0.41
			95.60	-0.26	1.92	93.23	-0.34	2.83			94.96	-0.41	2.29		
		平均値	95.03	-0.24	1.98	93.15	-0.31	2.96			95.14	-0.41	2.34		
KP-1（C-2）	K-3	表	94.94	-0.60	-0.24	91.43	-0.45	0.75	-2.90	3.08	94.81	-0.57	0.38	0.09	0.58
			95.00	-0.64	-0.22	92.72	-0.48	0.84			95.32	-0.62	0.31		
		平均値	94.97	-0.62	-0.23	92.08	-0.47	0.80			95.07	-0.60	0.35		
		裏	95.93	-0.54	0.31	94.69	-0.60	1.52	-1.53	1.96	95.90	-0.66	1.12	-0.22	0.74
			96.16	-0.51	0.33	94.35	-0.60	1.57			95.75	-0.64	0.92		
		平均値	96.05	-0.53	0.32	94.52	-0.60	1.55			95.83	-0.65	1.02		
KP-2（C-2）	K-6	表	95.84	-0.62	0.28	92.85	-0.43	0.89	-2.65	2.73	95.11	-0.61	0.34	-0.37	0.39
			95.77	-0.63	0.20	93.47	-0.48	0.87			95.77	-0.53	0.38		
		平均値	95.81	-0.63	0.24	93.16	-0.46	0.88			95.44	-0.57	0.36		
		裏	96.18	-0.63	0.47	94.46	-0.57	1.54	-1.76	2.07	96.20	-0.62	0.99	-0.03	0.49
			96.31	-0.59	0.54	94.51	-0.58	1.63			96.22	-0.62	1.00		
		平均値	96.25	-0.61	0.51	94.49	-0.58	1.59			96.21	-0.62	1.00		



図－4.6　便覧 C-2 対応　色差（つくば）

２）便覧 C-4 対応塗装系

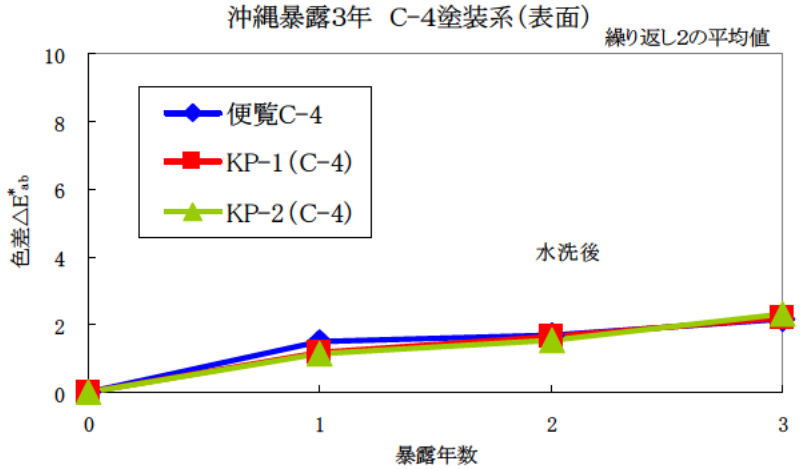
色差の評価結果を表－4.13～表－4.14 と図－4.7～図－4.8 に示す。

提案塗装系 KP-1（C-4）および KP-2（C-4）とも同一の上塗り塗料である。

基準となる便覧 C-4 塗装系と比較して、両提案塗装系とも、つくば、沖縄とも同等レベルを示した。

表－4.13　便覧 C-4 対応　色差（沖縄）

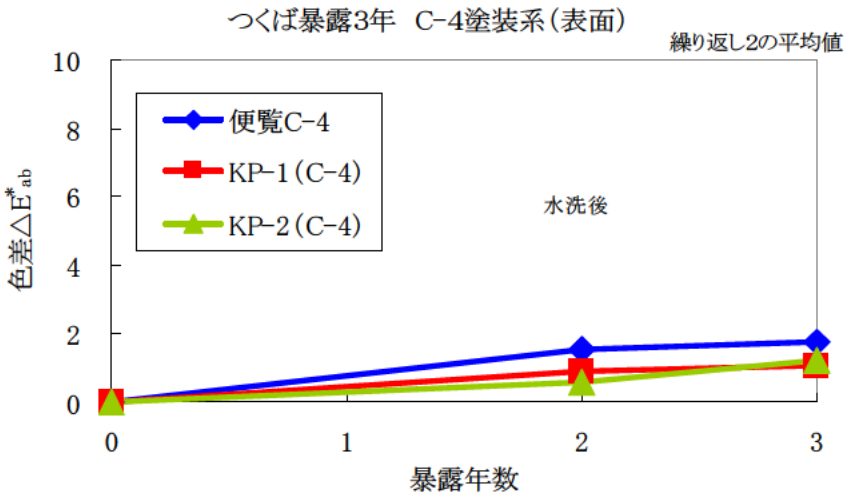
提案塗装系No.	試験板No.	表裏	初期値			沖縄暴露３年後									
						水洗前					水洗後				
			L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	$\triangle L^*$	$\triangle E^*_{ab}$	L^*	a^*	b^*	$\triangle L^*$	$\triangle E^*_{ab}$
便覧C-4（基準）	K-C-4	表	95.30	-0.30	1.03	93.38	-0.35	3.62	-1.91	3.20	94.43	-0.38	2.98	-0.89	2.16
			95.35	-0.29	1.04	93.45	-0.33	3.59			94.43	-0.44	3.01		
		平均値	95.33	-0.30	1.04	93.42	-0.34	3.61			94.43	-0.41	3.00		
		裏	95.72	-0.33	1.32	93.48	-0.38	2.90	-3.70	3.97	95.48	-0.40	2.49	-2.33	2.55
			95.75	-0.29	1.42	90.59	-0.58	2.70			91.34	-0.78	2.26		
		平均値	95.74	-0.31	1.37	92.04	-0.48	2.80			93.41	-0.59	2.38		
KP-1（C-4）	K-14	表	95.64	-0.42	0.82	94.41	-0.43	2.93	-1.26	2.69	94.51	-0.41	2.93	-0.93	2.21
			95.52	-0.40	0.70	94.23	-0.38	3.34			94.79	-0.46	2.61		
		平均値	95.58	-0.41	0.76	94.32	-0.41	3.14			94.65	-0.44	2.77		
		裏	95.63	-0.44	0.73	95.36	-0.47	2.25	-1.30	1.98	95.41	-0.42	1.75	-0.17	1.12
			95.60	-0.41	0.72	93.27	-0.34	2.19			95.49	-0.45	1.91		
		平均値	95.62	-0.43	0.73	94.32	-0.41	2.22			95.45	-0.44	1.83		
KP-2（C-4）	K-15	表	96.03	-0.36	1.11	94.59	-0.27	3.61	-1.43	2.90	94.95	-0.32	3.43	-0.88	2.31
			95.99	-0.35	1.11	94.57	-0.34	3.66			95.31	-0.25	3.07		
		平均値	96.01	-0.36	1.11	94.58	-0.31	3.64			95.13	-0.29	3.25		
		裏	95.74	-0.40	0.81	94.45	-0.63	2.08	-1.07	1.90	95.43	-0.43	2.01	-1.77	2.13
			95.71	-0.43	0.82	94.86	-0.46	2.69			92.47	-0.66	1.95		
		平均値	95.73	-0.42	0.82	94.66	-0.55	2.39			93.95	-0.55	1.98		



図－4.7　便覧 C-4 対応　色差（沖縄）

表－4.14　便覧 C-4 対応　色差（つくば）

提案塗装系No.	試験板No.	表裏	初期値			つくば暴露３年後								
						水洗前					水洗後				
			L*	a*	b*	L*	a*	b*	△L*	△E*ab	L*	a*	b*	△L*	△E*ab
便覧C-4（基準）	K-C-4	表	95.60	-0.36	1.56	89.23	-0.02	3.35	-6.43	6.68	93.51	-0.23	2.79	-2.00	2.30
			95.63	-0.36	1.53	89.13	-0.07	3.30			93.72	-0.24	2.55		
		平均値	95.62	-0.36	1.55	89.18	-0.05	3.33			93.62	-0.24	2.67		
		裏	94.45	-0.22	2.03	93.07	-0.28	3.09	-1.88	2.12	95.32	-0.40	2.38	0.11	0.41
			95.60	-0.26	1.92	93.23	-0.34	2.83			94.96	-0.41	2.29		
		平均値	95.03	-0.24	1.98	93.15	-0.31	2.96			95.14	-0.41	2.34		
KP-1（C-4）	K-14	表	95.81	-0.39	1.43	91.09	-0.23	3.07	-3.76	4.09	95.18	-0.41	2.24	-0.56	1.02
			95.70	-0.43	1.35	92.90	-0.20	2.88			95.20	-0.38	2.25		
		平均値	95.76	-0.41	1.39	92.00	-0.22	2.98			95.19	-0.40	2.25		
		裏	95.25	-0.43	1.05	95.15	-0.47	1.48	-0.53	0.78	95.30	-0.49	1.50	-0.14	0.46
			95.42	-0.45	1.08	94.47	-0.46	1.79			95.10	-0.45	1.50		
		平均値	95.34	-0.44	1.07	94.81	-0.47	1.64			95.20	-0.47	1.50		
KP-2（C-4）	K-15	表	95.98	-0.35	1.53	92.51	-0.11	2.92	-3.66	3.90	94.15	-0.34	2.61	-1.19	1.49
			95.93	-0.39	1.56	92.09	-0.13	2.82			95.38	-0.28	2.28		
		平均値	95.96	-0.37	1.55	92.30	-0.12	2.87			94.77	-0.31	2.45		
		裏	96.10	-0.39	1.69	95.69	-0.37	2.09	-0.67	0.85	96.06	-0.37	2.09	-0.06	0.40
			96.03	-0.38	1.62	95.10	-0.37	2.28			95.95	-0.41	2.02		
		平均値	96.07	-0.39	1.66	95.40	-0.37	2.19			96.01	-0.39	2.06		



図－4.8　便覧 C-4 対応　色差（つくば）

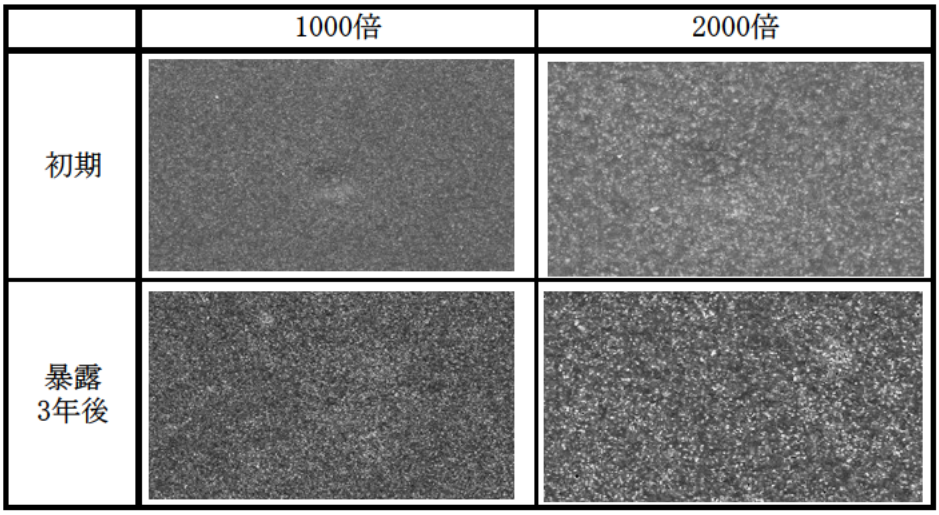
（４）塗膜表面観察

１）便覧 C-2 塗装系（D-C-2）

上塗り（強溶剤形ポリウレタン樹脂塗料上塗）塗膜の屋外暴露試験開始前と沖縄暴露試験３年後の表面状態を観察することで、塗膜の劣化状態の把握を行った。

①走査型電子顕微鏡観察

写真－4.3 に走査型電子顕微鏡（以下、SEM と記す）で塗膜表面を観察した結果を示す。暴露３年で塗膜表面の樹脂層が消失し始め、顔料が露出し始めていることが確認できた。

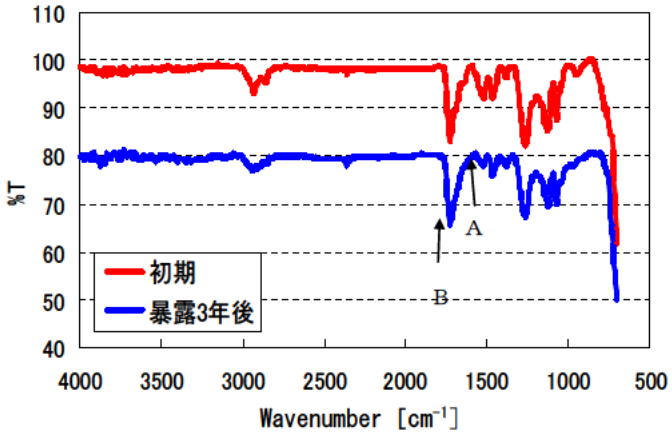


写真－4.3　SEM による塗膜表面状態の観察

②FT-IR 観察

図－4.9 に FT-IR で表面樹脂の劣化状態を観察した結果を示す。

また、表－4.15 に樹脂劣化過程において変化が顕在化すると思われる特定吸収部位での吸光度比の解析結果を示したが、暴露試験３年でウレタン結合がやや消失傾向にあることが確認された。



図－4.9　FT-IR チャート

表－4.15　特定吸収部位での吸光度比の解析結果

吸光度比	A/B
初期	0.08
暴露3年後	0.05

A：1540cm^{-1}　ウレタン結合のC-N伸縮振動、N-H変角振動

B：1730cm^{-1}　エステルのC=O伸縮振動

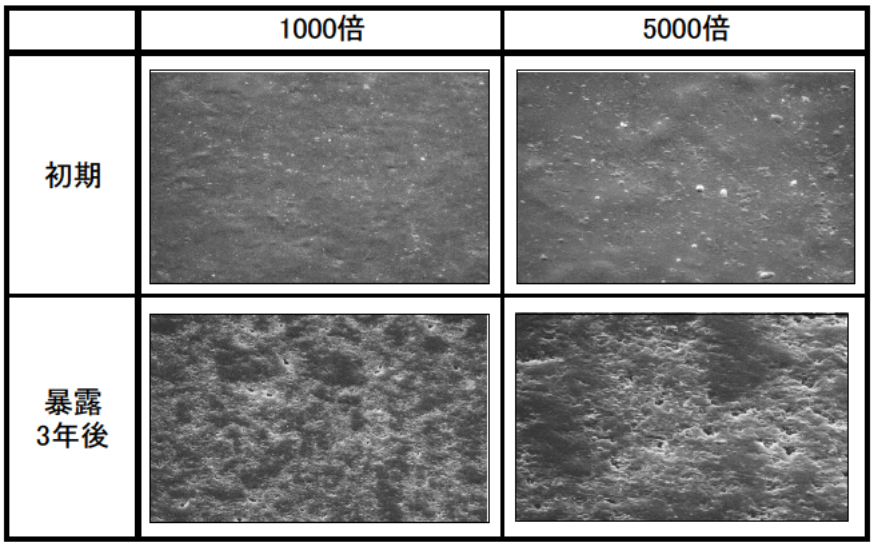
２）KP-1（C-2）および KP-2（C-2）

上塗り（強溶剤形中塗上塗兼用エポキシシリコン塗料）塗膜の屋外暴露試験開始前と沖縄暴露試験３年後の表面状態を観察することで、塗膜の劣化状態の把握を行った。

①走査型電子顕微鏡観察

写真－4.4 に SEM で塗膜表面を観察した結果を示す。

暴露３年で塗膜表面の樹脂層が劣化・消失し始めていることが確認できた。

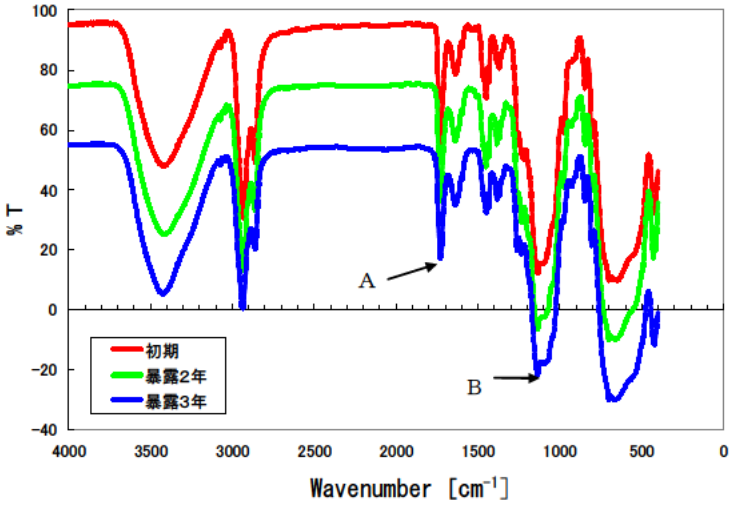


写真－4.4　SEM による塗膜表面状態の観察結果

②FT-IR 観察

図－4.10 に FT-IR で表面樹脂の劣化状態を観察した結果を示す。

また、表－4.16 に樹脂劣化過程において変化が顕在化すると思われる特定吸収部位での吸光度比の解析結果を示したが、暴露試験３年でもほとんど変化は生じていなかった。



図－4.10　FT-IR チャート

表－4.16　特定吸収部位での吸光度比の解析結果

吸光度比	A/B
初期	0.30
暴露2年後	0.29
暴露3年後	0.36

A：1730cm^{-1}　エステルのC=O伸縮振動

B：1140cm^{-1}　Si-O-Siの伸縮振動

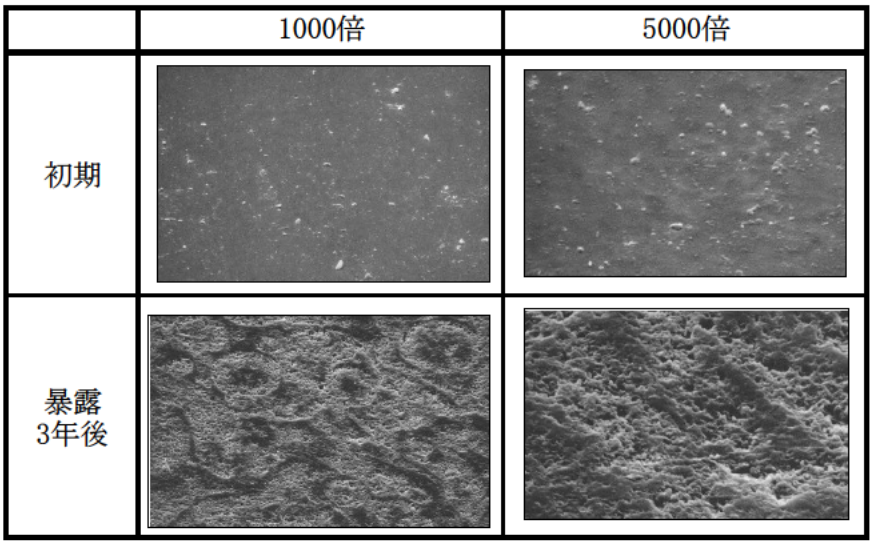
3）便覧 C-4 塗装系（K-C-4）

上塗り（強溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗）塗膜の屋外暴露試験開始前と沖縄暴露試験３年後の表面状態を観察することで、塗膜の劣化状態の把握を行った。

①走査型電子顕微鏡観察

写真－4.5 に SEM で塗膜表面を観察した結果を示す。

暴露３年で塗膜表面の樹脂層が劣化・消失し始めていることが確認できた。

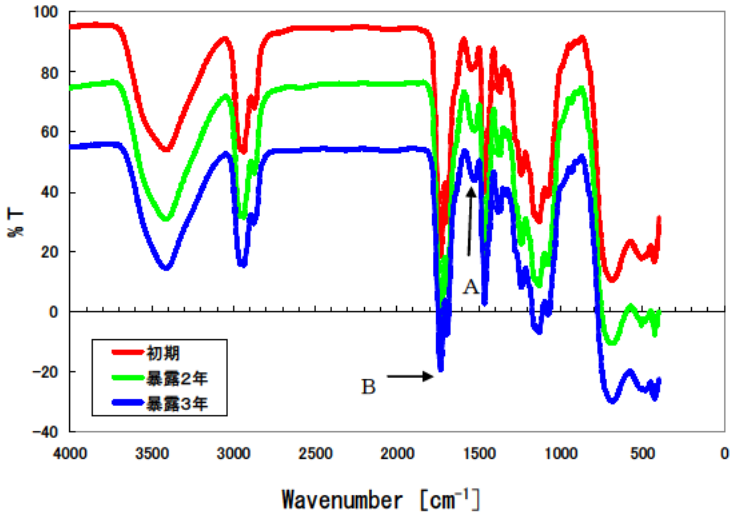


写真－4.5　SEM による塗膜表面状態の観察

②FT-IR 観察

図－4.11 に FT-IR で表面樹脂の劣化状態を観察した結果を示す。

また、表－4.17 に樹脂劣化過程において変化が顕在化すると思われる特定吸収部位での吸光度比の解析結果を示したが、暴露試験３年でもほとんど変化は生じていなかった。



図－4.11　FT-IR チャート

表－4.17　特定吸収部位での吸光度比の解析結果

吸光度比	A/B
初期	0.08
暴露2年後	0.10
暴露3年後	0.08

A：1540cm^{-1}　ウレタン結合のC-N伸縮振動、N-H変角振動

B：1730cm^{-1}　エステルのC=O伸縮振動

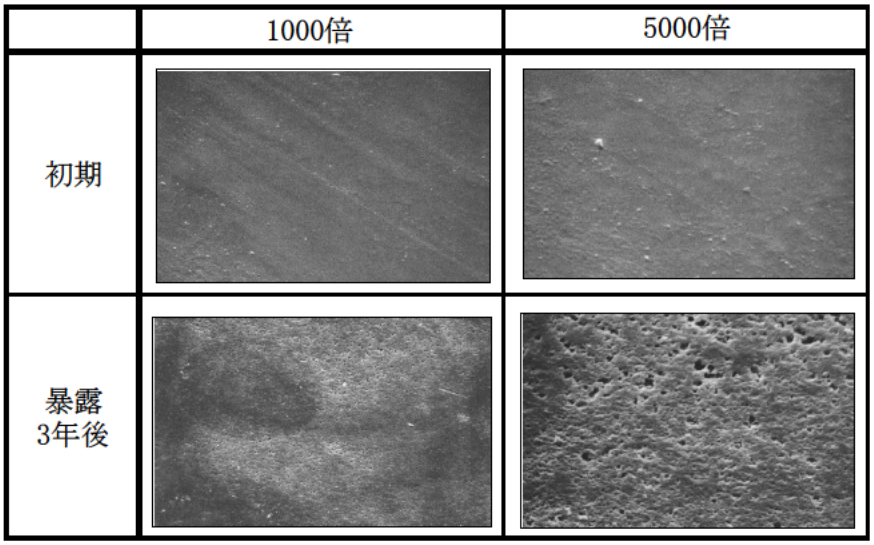
4）KP-1（C-4）および KP-2（C-4）

上塗り（弱溶剤系厚膜型ふっ素樹脂塗料上塗）塗膜の屋外暴露試験開始前と沖縄暴露試験３年後の表面状態を観察することで、塗膜の劣化状態の把握を行った。

①走査型電子顕微鏡観察

写真－4.6 に SEM で塗膜表面を観察した結果を示す。

暴露３年で塗膜表面の樹脂層がやや劣化・消失し始めていることが確認できた。

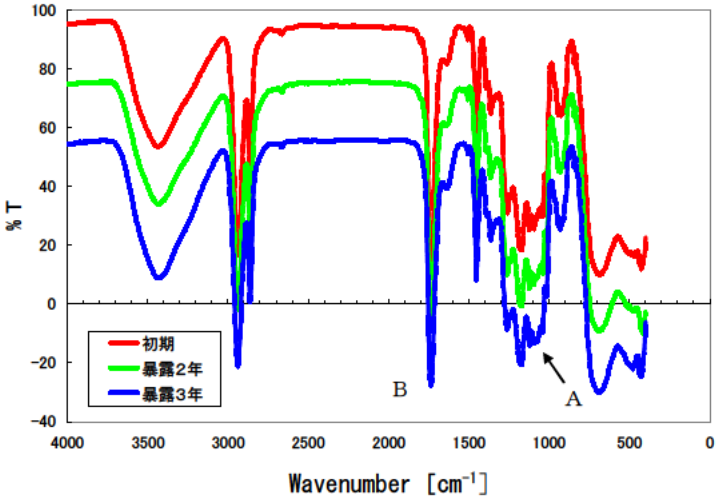


写真－4.6　SEM による塗膜表面状態の観察結果

②FT-IR 観察

図－4.12 に FT-IR で表面樹脂の劣化状態を観察した結果を示す。

また、表－4.18 に樹脂劣化過程において変化が顕在化すると思われる特定吸収部位での吸光度比の解析結果を示したが、暴露試験３年でも全く変化は生じていなかった。



図－4.12　FT-IR チャート

表－4.18　特定吸収部位での吸光度比の解析結果

吸光度比	A/B
初期	0.61
暴露2年後	0.60
暴露3年後	0.61

A：1140cm^{-1}　Si-O-Siの伸縮振動

B：1730cm^{-1}　エステルのC=O伸縮振動

（5）インピーダンス

1）便覧 C-2 対応塗装系

インピーダンスの測定結果を表－4.19 に示す。

沖縄暴露 3 年では、基準となる便覧 C-2 塗装系と比較して、両提案塗装系とも特に大きな変化は見られなかった。

表－4.19　便覧 C-2 対応　インピーダンス測定結果

提案塗装系№	試験板№	周波数	初期値			沖縄暴露３年後		
			抵抗値	静電容量	tanδ	抵抗値	静電容量	tanδ
		(kHz)	(kΩ)	(nF)		(kΩ)	(nF)	
便覧C-2（基準）	D-C-2	0.2	8333	0.57	0.17	4545	1.06	0.17
		0.5	4545	0.53	0.13	2273	0.98	0.14
		1.0	2857	0.50	0.11	1389	0.93	0.12
		5.0	909	0.49	0.07	435	0.86	0.09
KP-1(C-2)	K-3	0.2	14286	0.72	0.08	12500	0.42	0.15
		0.5	6667	0.69	0.07	7692	0.40	0.10
		1.0	4000	0.68	0.06	4762	0.38	0.09
		5.0	1250	0.67	0.04	1695	0.38	0.05
KP-2(C-2)	K-6	0.2	12500	0.61	0.10	6667	0.67	0.18
		0.5	6667	0.58	0.08	3571	0.61	0.15
		1.0	3846	0.56	0.07	2222	0.58	0.12
		5.0	1111	0.56	0.05	735	0.55	0.08

2）便覧 C-4 対応塗装系

インピーダンスの測定結果を表－4.20 に示す。

沖縄暴露 3 年では、基準となる便覧 C-4 塗装系と比較して、両提案塗装系とも特に大きな変化は見られなかった。

表－4.20　便覧 C-4 対応　インピーダンス測定結果

提案塗装系№	試験板№	周波数	初期値			沖縄暴露３年後		
			抵抗値	静電容量	tanδ	抵抗値	静電容量	tanδ
		(kHz)	(kΩ)	(nF)		(kΩ)	(nF)	
便覧C-4(基準)	K-C-4	0.2	14286	0.56	0.10	12500	0.43	0.15
		0.5	6667	0.53	0.09	7692	0.41	0.10
		1.0	4000	0.51	0.08	4762	0.39	0.09
		5.0	833	0.51	0.07	1613	0.39	0.05
KP-1(C-4)	K-14	0.2	8333	0.86	0.11	5882	1.00	0.14
		0.5	4000	0.81	0.10	2778	0.93	0.12
		1.0	2273	0.77	0.09	1667	0.89	0.11
		5.0	667	0.74	0.06	500	0.83	0.08
KP-2(C-4)	K-15	0.2	7143	0.85	0.13	10000	0.69	0.12
		0.5	3333	0.79	0.12	5000	0.65	0.10
		1.0	1887	0.76	0.11	2857	0.63	0.09
		5.0	526	0.71	0.09	806	0.61	0.06

（６）直流抵抗値

１）便覧 C-2 対応塗装系

直流抵抗値の測定結果を表－4.21 に示す。

沖縄暴露 3 年では、基準となる便覧 C-2 塗装系と比較して、両提案塗装系とも特に大きな変化は見られなかった。

表－4.21　便覧 C-2 対応　直流抵抗値測定結果

提案塗装系№	試験板№	直流抵抗値　（Ω・ｃｍ）		
		初期	２年後	３年後
便覧C-2(基準)	D-C-2	（今回データ測定なし）		
KP-1(C-2)	K-3	３．６１Ｅ+09	６．６７Ｅ+09	８．１８Ｅ+09
KP-2(C-2)	K-6	３．６３Ｅ+09	４．５８Ｅ+09	５．４３Ｅ+09

２）便覧 C-4 対応塗装系

直流抵抗値の測定結果を表－4.22 に示す。

沖縄暴露 3 年では、基準となる便覧 C-4 塗装系と比較して、両提案塗装系とも特に大きな変化は見られなかった。

表－4.22　便覧 C-4 対応　直流抵抗値測定結果

提案塗装系№	試験板№	直流抵抗値　（Ω・ｃｍ）		
		初期	２年後	３年後
便覧C-4(基準)	K-C-4	１．４５Ｅ+10	１．４４Ｅ+10	４．４６Ｅ+10
KP-1(C-4)	K-14	３．６８Ｅ+11	３．０６Ｅ+11	３．７６Ｅ+11
KP-2(C-4)	K-15	５．４０Ｅ+11	１．３６Ｅ+11	１．７５Ｅ+12

４．２．２　複合サイクル試験（CCT）

（１）便覧 C-2 対応塗装系

塗膜外観観察結果を表－4.23～表－4.24 に、土研式 250 サイクル後/ＪＩＳ式 CCT 1000 サイクル後に実施した付着性評価および記録写真(表面)を写真－4.7 に示す。

基準となる便覧 C-2 塗装系と比較して、両提案塗装系ともほぼ同等で差は認められなかった。

表－４.23　塗膜外観（土研式 CCT）

提案塗装系 No.	試験板 No.	10サイクル		30サイクル		50サイクル		100サイクル	
		一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部
便覧C-2（基準）	D-C-2	○	0mm	○	1mm	○	2mm	○	3mm
KP-1(C-2)	K-3	○	0mm	○	0mm	○	0mm	○	2mm
KP-2(C-2)	K-6	○	0mm	○	0mm	○	0mm	○	2mm

提案塗装系 No.	試験板 No.	150サイクル		200サイクル		250サイクル	
		一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部
便覧C-2（基準）	D-C-2	○	2mm	○	3mm	○	4mm
KP-1(C-2)	K-3	○	3mm	○	3mm	○	3mm
KP-2(C-2)	K-6	○	3mm	○	3mm	○	4mm

○：異状なし

表－4.24　塗膜外観（ＪＩＳ式 CCT）

提案塗装系 No.	試験板 No.	200サイクル		400サイクル		600サイクル		800サイクル		1000サイクル	
		一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部
便覧C-2（基準）	D-C-2	○	2mm	○	3mm	○	4mm	○	5mm	○	5mm
KP-1(C-2)	K-3	○	0mm	○	2mm	○	2mm	○	2mm	○	4mm
KP-2(C-2)	K-6	○	0mm	○	0mm	○	0mm	○	2mm	○	3mm

○：異状なし

試験板No.	土研式	ＪＩＳ式	試験片No.	土研式	ＪＩＳ式	試験片No.	土研式	ＪＩＳ式
便覧C-2（基準）			KP-1（C-2）			KP-2（C-2）		
付着力(MPa)	2.1	2.0	付着力(MPa)	3.2	3.0	付着力(MPa)	2.8	3.0
はく離箇所	ｼﾞﾝｸ90%、下塗10%	ｼﾞﾝｸ95%、下塗5%	はく離箇所	接30%、ｼﾞﾝｸ45%、下25%	接40%、ｼﾞﾝｸ50%、下10%	はく離箇所	接70%、上30%	接40%、下40%

はく離箇所　接：接着面、ｼﾞﾝｸ：ｼﾞﾝｸ塗膜内凝集破壊、下(塗)：下塗塗膜内凝集破壊、上(塗)：上塗塗膜内凝集破壊

写真－4.7　付着性および記録写真（土研式 CCT およびＪＩＳ式 CCT）

（2）便覧 C-4 対応塗装系

塗膜外観観察結果を表－4.25～表－4.26 に、土研式 250 サイクル後/ＪＩＳ式 CCT 1000 サイクル後に実施した付着性評価および記録写真(表面)を写真－4.8 に示す。

基準となる便覧 C-4 塗装系と比較して、両提案塗装系ともほぼ同等で差は認められなかった。

表－4.25　塗膜外観（土研式 CCT）

提案塗装系 No.	試験板 No.	10サイクル		30サイクル		50サイクル		100サイクル	
		一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部
便覧C-4（基準）	K-C-4	○	0mm	○	0mm	○	0mm	○	0mm
KP-1(C-4)	K-14	○	0mm	○	0mm	○	2mm	○	2mm
KP-2(C-4)	K-15	○	0mm	○	0mm	○	2mm	○	2mm

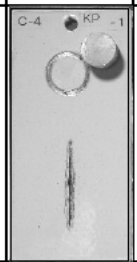
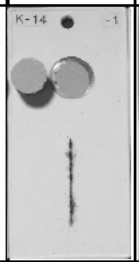
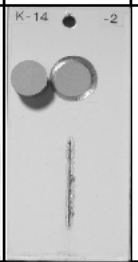
提案塗装系 No.	試験板 No.	150サイクル		200サイクル		250サイクル	
		一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部
便覧C-4（基準）	K-C-4	○	2mm	○	2mm	○	3mm
KP-1(C-4)	K-14	○	2mm	○	2mm	○	4mm
KP-2(C-4)	K-15	○	2mm	○	4mm	○	5mm

○：異状なし

表－4.26　塗膜外観（ＪＩＳ式 CCT）

提案塗装系 No.	試験板 No.	200サイクル		400サイクル		600サイクル		800サイクル		1000サイクル	
		一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部
便覧C-4（基準）	K-C-4	○	0mm	○	2mm	○	3mm	○	3mm	○	3mm
KP-1(C-4)	K-14	○	1mm	○	1mm	○	1mm	○	2mm	○	3mm
KP-2(C-4)	K-15	○	0mm	○	0mm	○	0mm	○	2mm	○	4mm

○：異状なし

試験板No.	土研式	ＪＩＳ式	試験板No.	土研式	ＪＩＳ式	試験板No.	土研式	ＪＩＳ式
便覧C-4（基準）			KP-1（C-4）			KP-2（C-4）		
付着力(MPa)	3.1	3.2	付着力(MPa)	3.0	3.2	付着力(MPa)	2.8	2.8
はく離箇所	接着剤100%	下塗80%、接15%、ｼﾞﾝｸ5%	はく離箇所	ｼﾞﾝｸ100%	ｼﾞﾝｸ100%	はく離箇所	接着剤45%、ｼﾞﾝｸ55%	ｼﾞﾝｸ85%、ｼﾞﾝｸ/下15%

はく離箇所　接(着剤)：接着面、ｼﾞﾝｸ：ｼﾞﾝｸ塗膜内凝集破壊、下(塗)：下塗塗膜内凝集破壊、

写真－4.8　付着性および記録写真（土研式 CCT およびＪＩＳ式 CCT）

４．２．３　促進耐候性試験（キセノンランプ法）

（１）便覧 C-2 対応塗装系

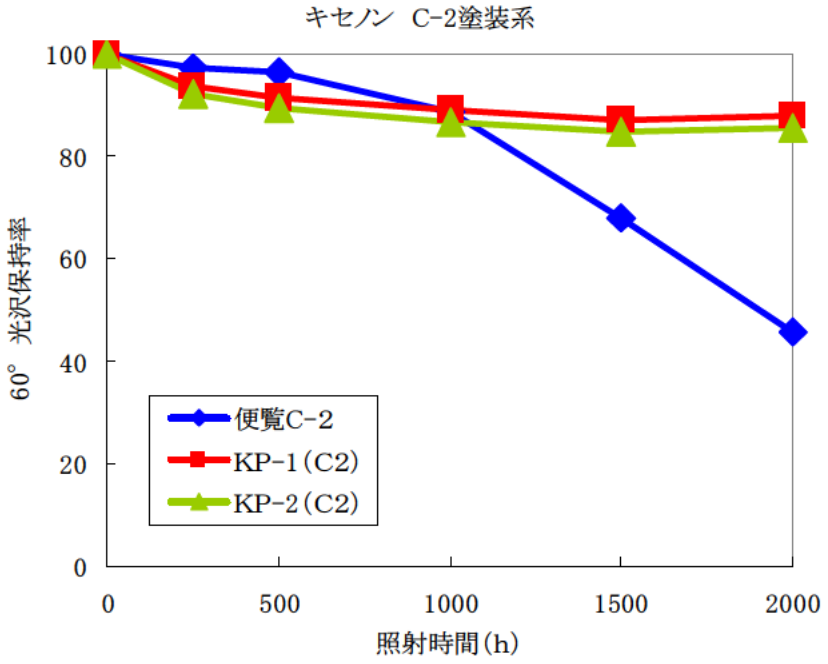
光沢度(60 度鏡面光沢度)の評価結果を表－4.27 と図－4.13 に示す。

提案塗装系 KP-1（C-2）および KP-2（C-2）とも同一の上塗り塗料である。

基準となる便覧 C-2 塗装系と比較して、両提案塗装系とも優れた促進耐候性を示した。

表－4.27　便覧 C-2 対応　光沢度

提案塗装仕様No.	試験板No.	測定点	照射時間　（h）					
			初期値	250	500	1000	1500	2000
便覧C-2（基準）	D-C-2	1	89.1	86.1	85.7	80.4	62.5	41.4
		2	87.8	86.2	85.1	76.2	57.5	39.2
		平均	88.5	86.2	85.4	78.3	60.0	40.3
KP-1（C-2）	K-3	1	77.5	72.3	70.6	68.7	67.0	67.6
		2	77.4	72.7	70.8	69.1	67.7	68.4
		平均	77.5	72.5	70.7	68.9	67.4	68.0
KP-2（C-2）	K-6	1	74.1	68.2	66.4	64.2	62.7	63.5
		2	74.5	68.7	66.6	64.6	63.1	63.9
		平均	74.3	68.5	66.5	64.4	62.9	63.7



図－4.13　便覧 C-2 対応　光沢保持率

（２）便覧 C-4 対応塗装系

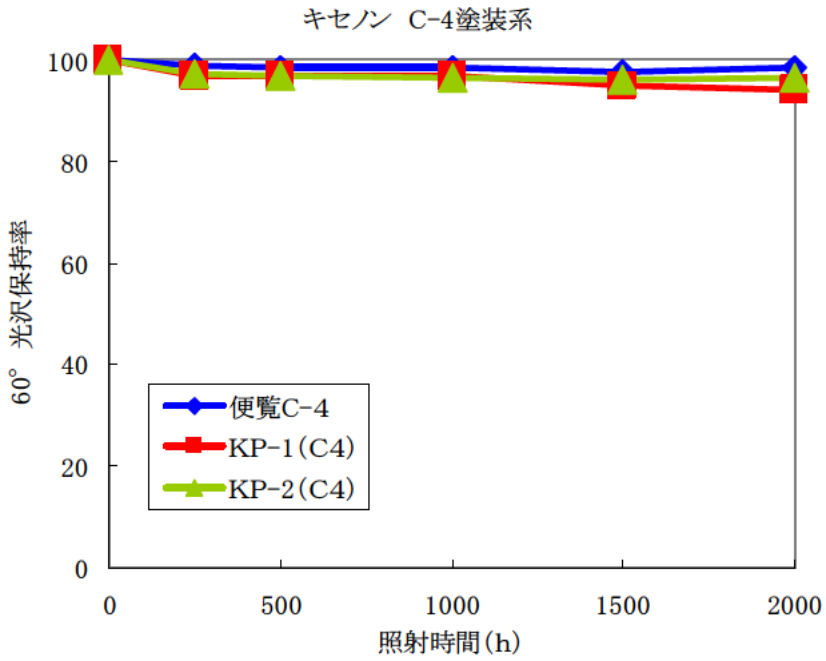
光沢度(60 度鏡面光沢度)の評価結果を表－4.28 と図－4.14 に示す。

提案塗装系 KP-1（C-4）および KP-2（C-4）とも同一の上塗り塗料である。

基準となる便覧 C-4 塗装系と比較して、両提案塗装系とも同等の促進耐候性を示した。

表－4.28　便覧 C-4 対応　光沢度

提案塗装仕様No.	試験板No.	測定点	照射時間　（h）					
			初期値	250	500	1000	1500	2000
便覧C-４（基準）	K-C-4	1	81.0	80.3	79.9	79.9	79.5	80.2
		2	80.7	79.2	79.1	79.1	78.4	78.9
		平均	80.9	79.8	79.5	79.5	79.0	79.6
KP-1 (C-4)	K-14	1	86.7	84.1	84.0	83.6	82.0	80.3
		2	84.7	81.6	82.3	82.2	80.9	80.9
		平均	85.7	82.9	83.2	82.9	81.5	80.6
KP-2 (C-4)	K-15	1	84.5	81.9	81.7	81.1	81.2	82.0
		2	82.7	80.4	80.0	80.4	79.2	79.6
		平均	83.6	81.2	80.9	80.8	80.2	80.8



図－4.14　便覧 C-4 対応　光沢保持率

４．２．４　塗膜性能試験

（１）便覧 C-2 対応塗装系

塗膜性能の評価結果を表－4.29 に示す。

提案塗装系 KP-1（C-2）および KP-2（C-2）ともジンクリッチペイントを除いた強溶剤形厚膜型エポキシ下塗塗料と強溶剤形エポキシシリコン中塗上塗兼用塗料を組み合わせたシステムは同一である。

基準となる便覧 C-2 塗装系の塗膜特性の測定を今回行っていないため相対比較はできないが、今回測定した便覧 C-4 塗装系と比較しても提案塗装系は同等レベルの塗膜性能を示していた。

表－4.29　便覧 C-2 対応　塗膜性能

提案塗装系№	試験板№	酸素透過性	水蒸気透過性		塗膜物性		
					応力緩和	破断ひずみ	破断応力（最大点一応力）
		酸素透過係数（$\times10^{-11}$）	透湿度（g/m²・24h）	透湿係数（$\times10^{-3}$）	応力の半減期	最大伸び率(%)	（ｋｇｆ/㎠）
便覧C-2（基準）	D-C-2	（今回データ測定なし）					
KP-1（C-2） KP-2（C-2）	K-3 K-6	0.84	5.5	1.9	70時間以上	3.7	334

（注）　１）塗膜物性試験に供する塗膜は、ジンクリッチ塗膜を除いたシステムで評価を実施した。
２）酸素透過係数の単位　：　cm^3（ＳＴＰ）$cm/cm^2sec\cdot cmHg$
３）透湿係数の単位　：　g･㎝/m²・24h・㎜Hg

（２）便覧 C-4 対応塗装系

塗膜性能の評価結果を表－４.30 に示す。

提案塗装系 KP-1（C-4）および KP-2（C-4）ともジンクリッチペイントを除いた弱溶剤系厚膜型エポキシ下塗塗料と弱溶剤系厚膜型ふっ素上塗塗料を組み合わせたシステムは同一である。

基準となる便覧 C-4 塗装系と比較して、提案塗装系は酸素透過性や透湿度(水蒸気透過度)の環境遮断機能がやや低い反面、応力緩和能は逆に高い傾向を示した。

これは、弱溶剤系塗料に用いる樹脂特性に起因していると考えられる。

表－4.30　便覧 C-4 対応　塗膜性能

提案塗装系№	試験板№	酸素透過性	水蒸気透過性		塗膜物性		
					応力緩和	破断ひずみ	破断応力（最大点一応力）
		酸素透過係数（$\times10^{-11}$）	透湿度（g/m²・24h）	透湿係数（$\times10^{-3}$）	応力の半減期	最大伸び率(%)	（ｋｇｆ/㎠）
便覧C-4（基準）	K-C-4	0.80	2.6	1.0	70時間以上	3.4	236
KP-1（C-4） KP-2（C-4）	K-14 K-15	9.71	11.3	3.9	11秒	3.8	190

（注）　１）塗膜物性試験に供する塗膜は、ジンクリッチ塗膜を除いたシステムで評価を実施した。
２）酸素透過係数の単位　：　cm^3（ＳＴＰ）$cm/cm^2sec\cdot cmHg$
３）透湿係数の単位　：　g･㎝/m²・24h・㎜Hg

４．３　まとめ

４．３．１　便覧 C-2 塗装系対応

表－4.31 に試験項目別に、基準となる C-2 塗装系と提案塗装２仕様との比較を示す。

整理すると下記のことがいえる。

（１）提案塗装系 KP-1（C-2）は便覧 C-2 仕様と比較して、防食性は同等で、耐候性は優れており、便覧 C-2 仕様と同等のシステムとして置き換え可能と考えられる。

また、沖縄暴露試験における耐候性はふっ素塗料仕上げシステム(便覧 C-4 仕様)と同等レベルであり、今後の試験結果によっては便覧 C-4 仕様の置き換えも可能となる。

（２）提案塗装系 KP-2（C-2）は便覧 C-2 仕様と比較して、防食性はカット部での劣化がやや大きい傾向にあるが、耐候性は優れている。

提案塗装系 KP-2（C-2）を便覧 C-2 仕様と同等のシステムとして置き換えるには、防食性についての更なる見極めが必要と考えられる。

（３）提案塗装系が全てジンクリッチペイントを併用していることもあり、屋外暴露試験３年では防食性と塗膜特性の明確な関係は得られていない。暴露試験を継続し、この関係を明確にしていきたい。

表－4.31　便覧 C-2 対応塗装系　試験結果対比一覧表

項目				基準	提案塗装系№	
				C-2	KP-1(C-2)	KP-2(C-2)
塗装系内訳	塗装回数			6	4	3
	塗装系（塗料品質）	厚膜ジンク		無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	有機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ
		下塗		ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	厚膜ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料塗料	厚膜ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料塗料
		中塗		ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	－	－
		上塗		ｳﾚﾀﾝ樹脂塗料	中上兼用塗料	中上兼用塗料
	塗膜厚　（μm）			250	250	250
	溶剤種別　（下塗・中塗・上塗）			強溶剤	強溶剤	強溶剤
	コスト指数　（削減率%）			100　（-）	79　（21）	65　（35）
1	屋外暴露試験（沖縄　3年間）	塗膜外観	一般部	○	○	○
			ｶｯﾄ部	○	○	△
		光沢保持率		○	◎	◎
		色差（$\triangle E^*_{ab}$）		○	○	○
		付着性		○	○	○
		塗膜表面観察（機器）		○	○	○
		インピーダンス		○	○	○
		直流抵抗値		（○）	○	○
2	複合サイクル試験（土研式250サイクル）（ＪＩＳ式1000サイクル）	塗膜外観	一般部	○	○	○
			ｶｯﾄ部	○	○	○
		付着性		○	○	○
3	促進耐候性試験（キセノン　2000h）	光沢保持率		○	◎	◎
4	塗膜特性試験（厚膜ｼﾞﾝｸなし）	酸素透過性		（○）	○	
		透湿度（水蒸気透過度）		（○）	○	
		塗膜物性	伸び	（○）	○	
			強度	（○）	○	
			応力緩和能	（○）	○	

（注）　1）評価は基準となる便覧Ｃ－２塗装系と提案塗装系との対比で表示。

（評価基準）

◎	○	△	×
優れる	同等	やや劣る	劣る

2）塗膜特性試験および直流抵抗値については便覧Ｃ-4塗装系のデータとの比較

４．３．２　便覧 C-4 塗装系対応

表－4.32 に試験項目別に、基準となる C-4 塗装系と提案塗装２仕様との比較を示す。

整理すると下記のことがいえる。

（１）提案塗装系 KP-1（C-4）は便覧 C-4 仕様と比較して、防食性は同等で、耐候性は優れており、便覧 C-4 仕様と同等のシステムとして置き換え可能と考えられる。

（２）提案塗装系 KP-2（C-4）は便覧 C-4 仕様と比較して、防食性はカット部での劣化がやや大きい傾向にあるが、耐候性は優れている。

提案塗装系 KP-2（C-4）を便覧 C-4 仕様と同等のシステムとして置き換えるには、防食性についての更なる見極めが必要と考えられる。

（３）提案塗装系が全てジンクリッチペイントを併用していることもあり、屋外暴露試験３年では防食性と塗膜性能の明確な関係は得られていない。暴露試験を継続し、この関係を明確にしていきたい。

表－4.32　便覧 C-4 対応塗装系　試験結果対比一覧表

項目				基準	提案塗装系№	
				C-4	KP-1(C-4)	KP-2(C-4)
塗装系内訳	塗装回数			6	4	3
	塗装系（塗料品質）	厚膜ジンク		無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	有機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ
		下塗		ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	厚膜ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料塗料	厚膜ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料塗料
		中塗		ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	ｳﾚﾀﾝ樹脂塗料	ｳﾚﾀﾝ樹脂塗料
		上塗		ふっ素樹脂塗料	ふっ素樹脂塗料	ふっ素樹脂塗料
	塗膜厚　（μm）			250	250	250
	溶剤種別　（下塗・中塗・上塗）			強溶剤	弱溶剤	弱溶剤
	コスト指数　（削減率%）			100　（-）	79　（21）	65　（35）
1	屋外暴露試験（沖縄　３年間）	塗膜外観	一般部	○	○	○
			ｶｯﾄ部	○	○	△
		光沢保持率		○	◎	◎
		色差（△E^*_{ab}）		○	○	○
		付着性		○	○	○
		塗膜表面観察（機器）		○	○	○
		インピーダンス		○	○	○
		直流抵抗値		○	○	○
2	複合サイクル試験（土研式250サイクル）（ＪＩＳ式1000サイクル）	塗膜外観	一般部	○	○	○
			ｶｯﾄ部	○	○	○
		付着性		○	○	○
3	促進耐候性試験（キセノン　2000H）	光沢保持率		○	○	○
4	塗膜特性試験（厚膜ｼﾞﾝｸなし）	酸素透過性		○	△	
		透湿度（水蒸気透過度）		○	△	
		塗膜物性	伸び	○	○	
			強度	○	○	
			応力緩和能	○	◎	

（注）　1）評価は基準となる便覧Ｃ－２塗装系と提案塗装系との対比で表示。

（評価基準）

◎	○	△	×
優れる	同等	やや劣る	劣る

５．神東塗料株式会社　提案塗装系と試験結果

５．１　提案塗装系

本研究に対する神東塗料㈱提案塗装系を表－5.1 に示し、コスト試算を表－5.2 に示す。

提案塗装系 ST-1 は、防食下地に無機ジンクリッチペイントを適用し、ミストコート塗装後、厚膜形塗料（中塗・上塗）を組み合わせる塗装系で、総工程数を４工程とする。これにより、便覧 C-4 仕様に対して新設塗装コスト約 18%削減を目標とする。

提案塗装系 ST-2 は、高力ボルト継手部に適用できる高摩擦形の有機ジンクリッチペイントを防食下地とし、厚膜形塗料（中塗・上塗）を組み合わせる塗装系で、総工程数を３工程とする。これにより、便覧 C-4 仕様に対して新設塗装コスト約 29%削減を目標とする。

表－5.1　提案塗装系一覧

提案塗装系№	試験板№	コンセプト	コスト指数	塗装系						
				第1層目	第2層目	第3層目	第4層目	第5層目	第6層目	合計膜厚（μm）
便覧C-4（基準）	K-C-4	－	100	無機ジンクリッチペイント（75μm）	ミストコート（―）	エポキシ樹脂塗料下塗（60μm）	エポキシ樹脂塗料下塗（60μm）	ふっ素樹脂塗料用中塗（30μm）	ふっ素樹脂塗料上塗（25μm）	250
ST-1(C-4)	S-1	厚膜形中塗・上塗塗料の組み合わせによる省工程化	82（18%減）	無機ジンクリッチペイント（75μm）	ミストコート（―）	低溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（120μm）	シリコン変性アクリル樹脂塗料上塗（60μm）	―	―	255
ST-2(C-4)	S-2	高摩擦有機ジンクリッチペイント・厚膜形中塗・上塗の組み合わせによる省工程化	71（29%減）	高摩擦有機ジンクリッチペイント（75μm）	低溶剤形変性エポキシ樹脂塗料（150μm）	シリコン変性アクリル樹脂塗料上塗（60μm）	―	―	―	285

表－5.2　提案塗装系コスト試算

提案塗装系№	試験板№	コンセプト	コスト（円/㎡：材工（塗料＋シンナー＋塗装費）込み）							
			第１層目	第２層目	第３層目	第４層目	第５層目	第６層目	合計金額	ｺｽﾄ指数
便覧C-4（基準）	K-C-4	－	1,063	568	685	685	605	983	4,590	100
ST-1	S-1	厚膜形中塗・上塗塗料の組み合わせによる省工程化	1,063	568	1,053	1,084	―	―	3,768	82
ST-2	S-2	高摩擦有機ジンクリッチペイント・厚膜形中塗・上塗の組み合わせによる省工程化	1,029	1,127	1,084	―	―	―	3,240	71

※1　ミストコートについて
・ミストコート用の塗料は次工程に使用する塗料を160g/㎡使用
・ミストコート用のシンナーはミストコートに用いる塗料用のシンナーを40～50%希釈して使用する。

※2 計算例 [提案ST-１の第１層目]
塗料代+ｼﾝﾅｰ代+塗装費
0.7kg/㎡×950円/kg ＋ 0.7kg/㎡×5%×350円/kg ＋ 386円/㎡ = 1，063円/㎡

※3　塗料単価について
塗料単価は、共通編コスト計算基準によるものとするが、低溶剤形変性エポキシ樹脂塗料およびシリコン変性アクリル上塗は以下の単価設定とした。
・低溶剤形変性エポキシ樹脂塗料　：　１，４００円／ｋｇ
・シリコン変性アクリル上塗　：　２，７５０円／ｋｇ

５．２　試験結果

５．２．１　屋外暴露試験

（１）塗膜外観および付着性

屋外暴露試験３年間の塗膜外観観察および付着性評価結果を表－5.3～表－5.4 に示し、記録写真を写真－5.1 に示す。

沖縄，つくばのいずれの暴露試験においても防食下地に便覧 C-4 と同じ無機ジンクリッチペイントを用いた ST-1 は、一般部、カット部ともに便覧 C-4 とほぼ同等の結果を示したが、防食下地に高摩擦有機ジンクリッチペイントを用いた ST-2 は、便覧 C-4 に比べて一般部は同等であるもののカット部において便覧 C-4 より防食性がやや劣る傾向を示した。付着性評価ついては ST-1 および ST-2 ともに便覧 C-4 と同等の結果を示した。

表－5.3　沖縄暴露試験後の塗膜外観観察・付着性評価結果

提案塗装系№	試験板№	繰り返し数	塗板の表裏	塗膜外観観察						付着性試験			
				１年後		２年後		３年後		引張り付着強度		テープ付着（碁盤目）	
				一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	MPa	はく離箇所	残升目	はく離箇所
便覧C-4（基準）	K-C-4	1	表	○	0mm	○	0mm	○	0mm	5.0	接100%	9/9	－
			裏	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
		2	表	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
			裏	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
ST-1(C-4)	S-1	1	表	○	0mm	○	1mm	○	1mm	6.2	接100%	8/9	ｼﾞﾝｸ
			裏	○	0mm	○	0mm	○	1mm				
		2	表	○	0mm	○	0mm	○	1mm				
			裏	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
ST-2(C-4)	S-2	1	表	○	0mm	○	0mm	○	1mm	4.0	接50% ｼﾞﾝｸ 50%	9/9	－
			裏	○	0mm	○	0mm	○	2mm				
		2	表	○	0mm	○	2mm	○	5mm				
			裏	○	0mm	○	4mm	○	13mm				

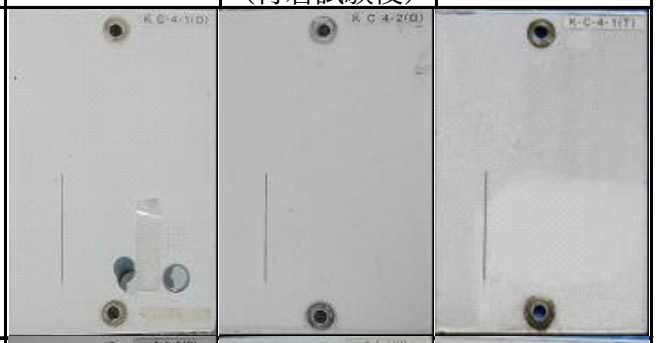
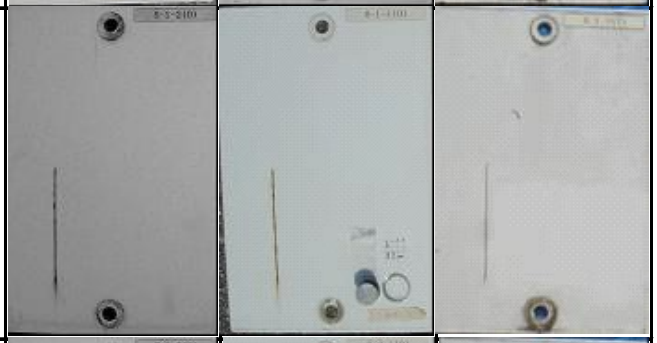
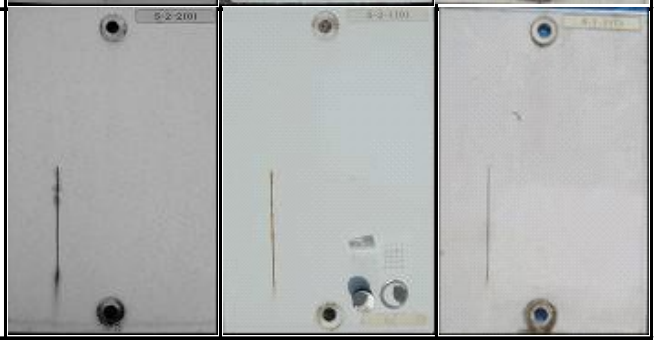
注1：一般部評価の○は異状なしを示す。

注2：付着性試験の引張り付着強度はく離箇所は、接は接着剤破壊を示し、ジンクはジンクリッチペイントの層内破壊を示す。

表－5.4　つくば暴露試験後の塗膜外観観察結果

提案塗装系№	試験板№	繰り返し数	塗板の表裏	塗膜外観観察			
				２年後		３年後	
				一般部	カット部	一般部	カット部
便覧C-4（基準）	K-C-4	1	表	○	0mm	○	0mm
			裏	○	0mm	○	0mm
		2	表	○	0mm	○	0mm
			裏	○	0mm	○	0mm
ST-1(C-4)	S-1	1	表	○	0mm	○	0mm
			裏	○	0mm	○	0mm
		2	表	○	0mm	○	0mm
			裏	○	0mm	○	0mm
ST-2(C-4)	S-2	1	表	○	1mm	○	2mm
			裏	○	0mm	○	0mm
		2	表	○	1mm	○	2mm
			裏	○	0mm	○	1mm

注1：一般部評価の○は異状なしを示す。

試験片No.	沖 縄		つくば
	n－1	n－2 （付着試験後）	
K-C-4 （基準）			
ST-1 （C-4）			
ST-2 （C-4）			

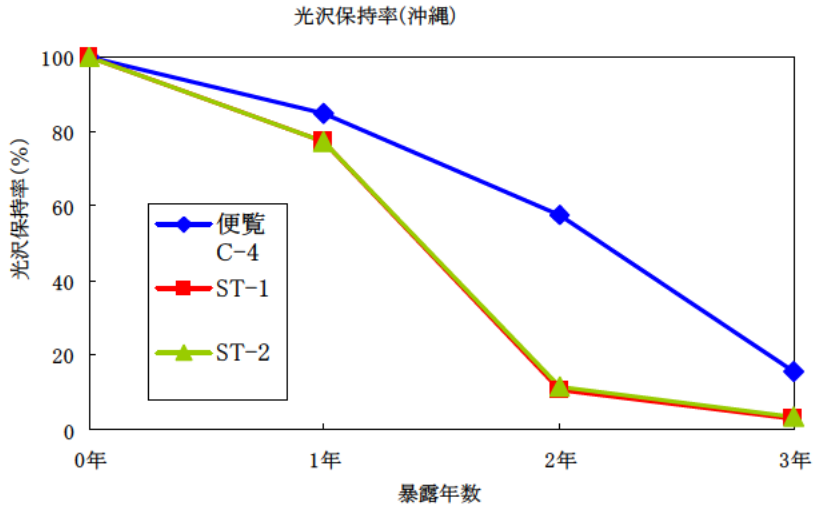
写真－5.1　暴露試験記録写真（３年）

（2）光沢度

暴露試験３年後の光沢度の評価結果を表－5.5～表－5.6 および図－5.1～ 図－5.2 に示す。ST-1 および ST-2 は同一の上塗塗料（シリコン変性アクリル樹脂塗料上塗）を供試した。いずれも便覧 C-4 仕様のふっ素樹脂塗料上塗に比べて沖縄，つくばともに光沢保持率がやや低い結果を示した。

表－5.5　沖縄３年の光沢度

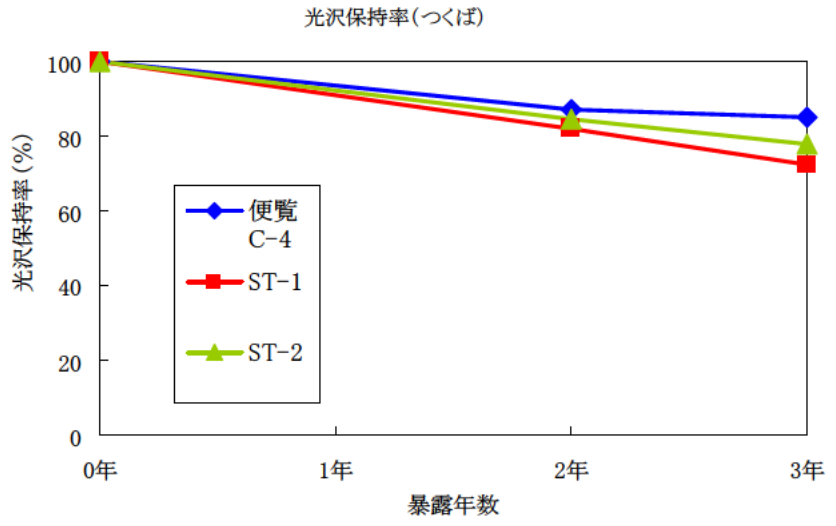
提案塗装系No.	試験板No.	表裏	初期値	沖縄暴露３年後			
				水洗前		水洗後	
				光沢度	保持率	光沢度	保持率
便覧 C-4（基準）	K-C-4	表	75.3	17.0	21.9	11.5	15.9
			76.4	15.2		11.9	
			71.0	16.6		12.0	
		平均値	74.2	16.3		11.8	
		裏	80.1	72.5	84.2	71.1	90.3
			78.8	65.4		72.8	
			79.3	62.7		71.3	
		平均値	79.4	66.9		71.7	
ST-1（C-4）	S-1	表	82.0	4.0	4.2	2.6	3.1
			82.3	2.9		2.5	
			83.3	3.6		2.6	
		平均値	82.5	3.5		2.6	
		裏	78.4	56.9	71.4	70.6	88.9
			80.0	55.0		70.1	
			78.3	57.0		69.7	
		平均値	78.9	56.3		70.1	
ST-2（C-4）	S-2	表	81.5	5.3	5.1	2.8	3.4
			81.9	3.6		3.0	
			83.0	3.6		2.6	
		平均値	82.1	4.2		2.8	
		裏	73.1	56.2	73.5	65.4	84.3
			73.6	53.6		65.1	
			75.8	53.7		57.1	
		平均値	74.2	54.5		62.5	



図－5.1　光沢保持率（表面―沖縄３年）

表－5.6　つくば３年の光沢度

提案塗装系No.	試験片No.	表裏	初期値	つくば暴露３年後			
				水洗前		水洗後	
				光沢度	保持率	光沢度	保持率
便覧C-4（基準）	K-C-4	表	78.2	43.0	54.8	64.9	81.2
			75.8	41.2		61.0	
			74.6	41.0		59.7	
		平均値	76.2	41.7		61.9	
		裏	77.6	71.6	91.0	73.5	93.7
			80.0	73.0		76.1	
			79.4	71.1		72.5	
		平均値	79.0	71.9		74.0	
ST-1（C-4）	S-1	表	81.1	40.1	50.2	60.0	72.4
			82.7	41.5		60.1	
			82.8	42.1		58.4	
		平均値	82.2	41.2		59.5	
		裏	77.2	67.2	86.5	70.0	89.2
			80.1	67.9		70.7	
			79.1	69.4		70.1	
		平均値	78.8	68.2		70.3	
ST-2（C-4）	S-2	表	69.1	41.9	56.8	57.0	80.1
			73.2	38.9		57.3	
			73.0	41.4		58.1	
		平均値	71.8	40.7		57.5	
		裏	80.0	67.9	82.9	71.9	89.1
			81.2	67.0		72.4	
			81.7	66.4		72.2	
		平均値	81.0	67.1		72.2	



図－5.2　光沢保持率（表面－つくば３年）

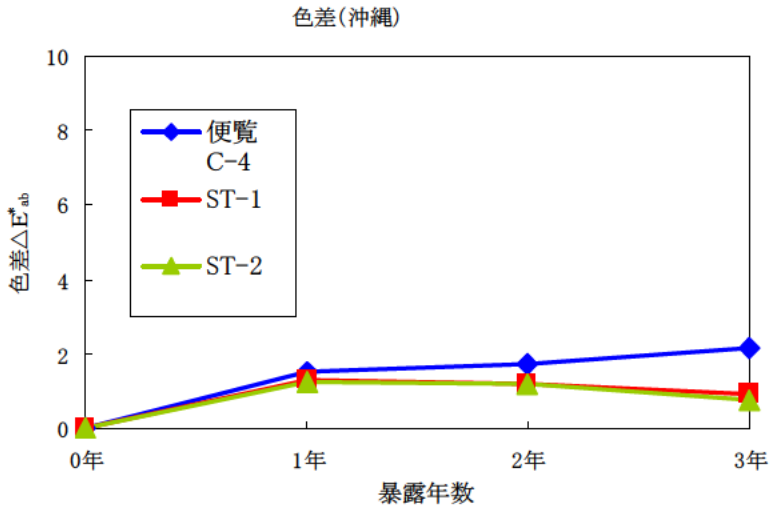
（３）色差

暴露試験３年後の色差の評価結果を表－5.7～表－5.8 および図－5.3～図－5.4 に示す。

色差については、同一上塗の ST-1 および ST-2 は沖縄，つくばともに変色や汚れの固着は認められず便覧 C-4 と同等以上の結果を示した。

表－5.7　沖縄３年の色差

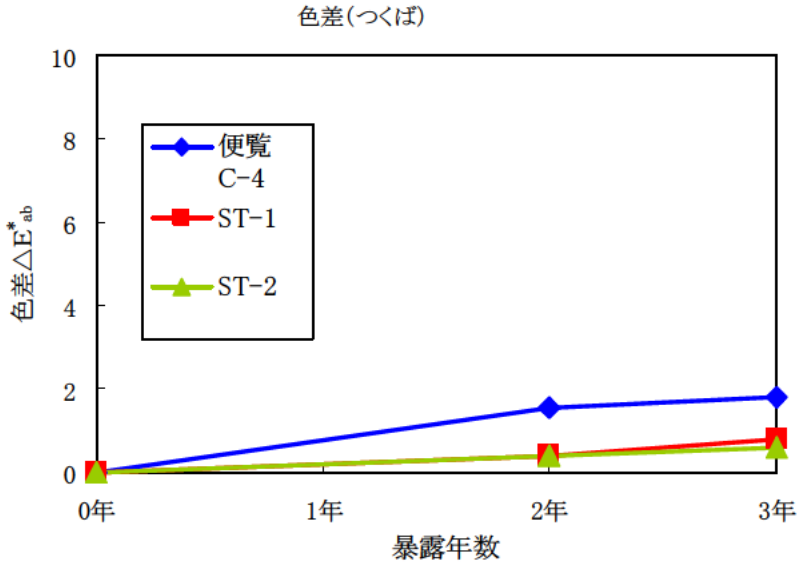
提案塗装系No.	試験板No.	表裏	初期値			沖縄暴露３年									
						水洗前					水洗後				
			L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	$\triangle L^*$	$\triangle E^*_{ab}$	L^*	a^*	b^*	$\triangle L^*$	$\triangle E^*_{ab}$
便覧C-4（基準）	K-C-4	表	95.30	-0.30	1.03	93.38	-0.35	3.62	-1.91	3.20	94.43	-0.38	2.98	-0.89	2.16
			95.35	-0.29	1.04	93.45	-0.33	3.59			94.43	-0.44	3.01		
		平均値	95.33	-0.30	1.04	93.42	-0.34	3.61			94.43	-0.41	3.00		
		裏	95.72	-0.33	1.32	93.48	-0.38	2.90	-3.70	3.97	95.48	-0.40	2.49	-2.33	2.55
			95.75	-0.29	1.42	90.59	-0.58	2.70			91.34	-0.78	2.26		
		平均値	95.74	-0.31	1.37	92.04	-0.48	2.80			93.41	-0.59	2.38		
ST-1(C-4)	S-1	表	96.26	-0.39	0.01	95.65	-0.56	1.62	-0.34	1.58	96.76	-0.53	0.81	0.50	0.93
			96.27	-0.39	0.06	96.19	-0.58	1.51			96.76	-0.50	0.82		
		平均値	96.27	-0.39	0.04	95.92	-0.57	1.57			96.76	-0.52	0.82		
		裏	96.33	-0.41	-0.02	96.11	-0.74	1.48	-0.15	1.58	96.75	-0.66	0.80	0.33	1.01
			96.24	-0.42	0.02	96.16	-0.73	1.61			96.48	-0.64	1.05		
		平均値	96.29	-0.42	0.00	96.14	-0.74	1.55			96.62	-0.65	0.93		
ST-2(C-4)	S-2	表	96.35	-0.35	0.04	95.25	-0.63	1.94	-1.07	2.18	96.24	-0.54	0.79	0.23	0.76
			96.31	-0.42	0.01	95.28	-0.55	1.90			96.88	-0.53	0.67		
		平均値	96.33	-0.39	0.03	95.27	-0.59	1.92			96.56	-0.54	0.73		
		裏	96.14	-0.42	-0.12	95.59	-0.75	1.47	-0.34	1.62	96.32	-0.73	0.67	0.36	0.87
			96.08	-0.47	-0.13	95.95	-0.70	1.40			96.61	-0.59	0.60		
		平均値	96.11	-0.45	-0.13	95.77	-0.73	1.44			96.47	-0.66	0.64		



図－5.3　色差（表面―沖縄３年）

表－5.8　つくば３年の色差

提案塗装系No.	試験板No.	表裏	初期値			つくば暴露３年後								
						水洗前					水洗後				
			L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	$\triangle L^*$	$\triangle E^*_{ab}$	L^*	a^*	b^*	$\triangle L^*$	$\triangle E^*_{ab}$
便覧C-4（基準）	K-C-4	表	95.60	-0.36	1.56	89.23	-0.02	3.35	-6.43	6.68	93.51	-0.23	2.79	-2.00	2.30
			95.63	-0.36	1.53	89.13	-0.07	3.30			93.72	-0.24	2.55		
		平均値	95.62	-0.36	1.55	89.18	-0.05	3.33			93.62	-0.24	2.67		
		裏	94.45	-0.22	2.03	93.07	-0.28	3.09	-1.88	2.12	95.32	-0.40	2.38	0.11	0.41
			95.60	-0.26	1.92	93.23	-0.34	2.83			94.96	-0.41	2.29		
		平均値	95.03	-0.24	1.98	93.15	-0.31	2.96			95.14	-0.41	2.34		
ST-1(C-4)	S-1	表	96.27	-0.53	0.59	91.70	-0.18	1.70	-4.49	4.65	95.99	-0.43	1.05	-0.49	0.69
			96.59	-0.48	0.54	92.19	-0.21	1.84			95.90	-0.39	1.03		
		平均値	96.43	-0.51	0.57	91.95	-0.20	1.77			95.95	-0.41	1.04		
		裏	96.63	-0.58	0.74	95.56	-0.50	1.62	-1.35	1.68	96.56	-0.54	1.14	-0.06	0.43
			96.64	-0.54	0.73	95.00	-0.42	1.84			96.59	-0.50	1.17		
		平均値	96.64	-0.56	0.74	95.28	-0.46	1.73			96.58	-0.52	1.16		
ST-2(C-4)	S-2	表	96.46	-0.53	0.74	91.72	-0.21	1.91	-4.58	4.76	96.12	-0.41	1.13	-0.37	0.58
			96.59	-0.48	0.60	92.17	-0.18	1.95			96.19	-0.43	1.10		
		平均値	96.53	-0.51	0.67	91.95	-0.20	1.93			96.16	-0.42	1.12		
		裏	96.37	-0.46	0.61	95.33	-0.38	1.61	-1.31	1.66	96.46	-0.45	1.17	-0.06	0.51
			96.65	-0.50	0.56	95.07	-0.41	1.59			96.44	-0.46	1.02		
		平均値	96.51	-0.48	0.59	95.20	-0.40	1.60			96.45	-0.46	1.10		

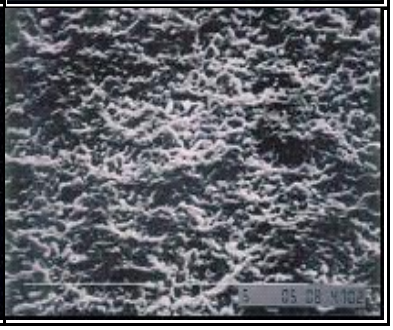


図－5.4　色差（表面－つくば３年）

（４）塗膜表面観察

１）走査型電子顕微鏡観察

走査型電子顕微鏡（SEM 画像）による沖縄暴露試験３年後の上塗塗膜表面の観察結果を写真－5.2 に示す。ST-1（シリコン変性アクリル樹脂塗料上塗）および便覧 C-4（ふっ素樹脂塗料上塗）のいずれも塗膜表面の樹脂層が劣化・消失し始めていることが確認された。

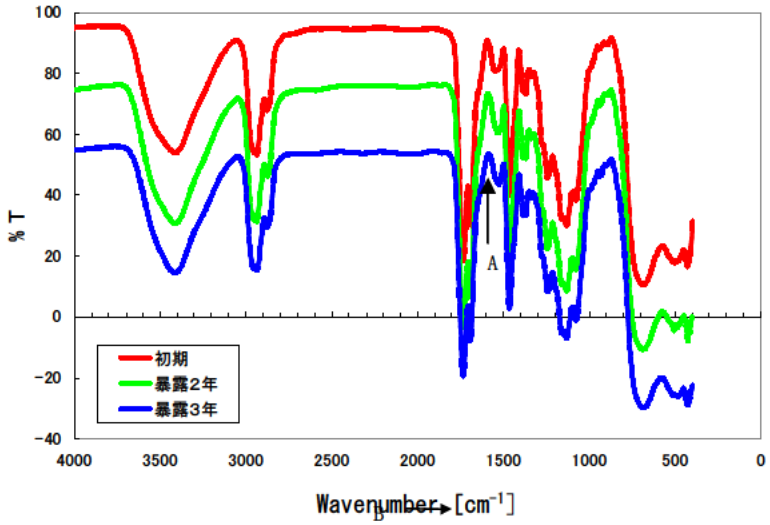
試料	1000倍	5000倍
Ｃ－４ （ふっ素） 初　期		
Ｃ－４ （ふっ素） 暴露３年後		
提案塗装系 （ｼﾘｺﾝｱｸﾘﾙ） 初　期		
提案塗装系 （ｼﾘｺﾝｱｸﾘﾙ） 暴露３年後		

写真－5.2　SEM　観察写真

２）FT-IR 観察

沖縄暴露試験後の上塗塗膜表面の FT-IR 分析結果を図－5.5 および図－5.6 に示し、樹脂の劣化において変化が認められる特定吸収部位での吸光度比を表－5.9 および表－5.10 に示す。

ST-1（シリコン変性アクリル樹脂塗料上塗）は、便覧 C-4（ふっ素樹脂塗料上塗に比べてウレタン結合部（1540cm^{-1}）の吸光度比にやや低下の傾向が認められた。

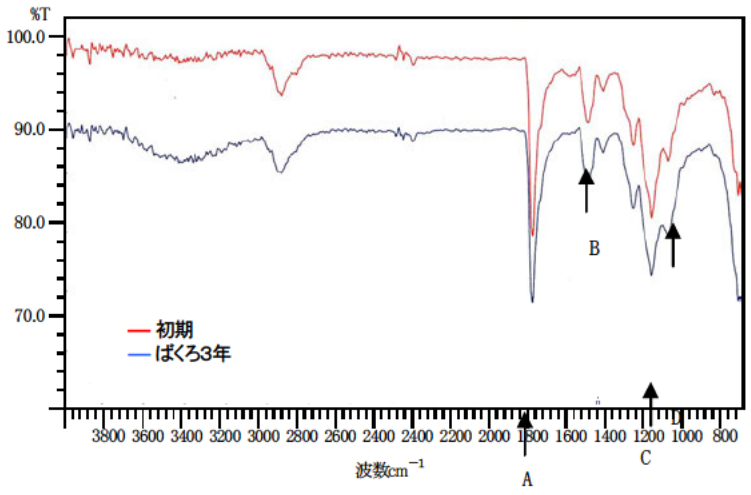


表－5.9 特定吸収部位での吸光度比解析結果

吸光度比	A／B
初期	0.08
ばくろ2年後	0.10
ばくろ3年後	0.08

A：1540cm^{-1}　ウレタン結合のC-N伸縮振動、N-H変角振動
B：1730cm^{-1}　エステルのC=O伸縮振動

図－5.5　ふっ素樹脂塗料上塗の沖縄ばくろ３年後の FT-IR 解析結果



表－5.10　特定吸収部位での吸光度比解析結果

吸光度比	B/A	C/A	D/A
初期	0.075	0.836	0.507
暴露3年後	0.047	0.813	0.504

A：1730cm^{-1} エステルのC=O伸縮振動
B：1540cm^{-1} C-N伸縮振動とN-H変角振動（アミドⅡ吸収帯）
C：1140cm^{-1}
D：1060cm^{-1}　Si-O-Siの伸縮振動（2つの強い吸収帯がある）

図－5.6　シリコン変性アクリル上塗の沖縄ばくろ３年後の FT-IR 解析結果

（5）インピーダンス

沖縄暴露３年後のインピーダンス測定結果を表－5.11 に示す。交流インピーダンス測定による周波数特性は ST-1，ST-2 ともに便覧 C-4 と同等の結果を示し、塗膜の劣化傾向は認められなかった。

表－5.11　インピーダンス測定結果

提案塗装系№	試験板№	周波数	初期値			沖縄暴露３年後		
			抵抗値	静電容量	tanδ	抵抗値	静電容量	tanδ
		(kHz)	(kΩ)	(nF)		(kΩ)	(nF)	
便覧C-4（基準）	K-C-4	0.2	14286	0.56	0.10	12500	0.43	0.15
		0.5	6667	0.53	0.09	7692	0.41	0.10
		1.0	4000	0.51	0.08	4762	0.39	0.09
		5.0	833	0.51	0.07	1613	0.39	0.05
ST-1（C-4）	S-1	0.2	16667	0.70	0.07	9091	0.60	0.15
		0.5	7143	0.67	0.07	4762	0.55	0.12
		1.0	4000	0.66	0.06	3030	0.53	0.10
		5.0	1000	0.65	0.05	909	0.51	0.07
ST-2（C-5）	S-2	0.2	10000	0.72	0.11	10000	0.62	0.13
		0.5	5000	0.68	0.09	5000	0.59	0.11
		1.0	2857	0.66	0.08	3030	0.56	0.09
		5.0	769	0.63	0.07	909	0.54	0.06

（6）直流抵抗値

沖縄暴露２年後の直流抵抗値の測定結果を表－5.12 に示す。

インピーダンスの評価結果と同様に ST-1，ST-2 ともに便覧 C-4 と同等以上の結果を示した。

表－5.12　直流抵抗値測定結果

提案塗装系№	試験板№	直流抵抗値　（Ω・ｃｍ）	
		初期	２年後
便覧C-4（基準）	K-C-4	1.45E＋10	1.44E＋10
ST-1(C-4)	S-1	7.98E＋10	4.03E＋10
ST-2(C-4)	S-2	1.18E＋10	2.37E＋10

５．２．２　複合サイクル試験（CCT）

複合サイクル試験における塗膜の外観観察結果を表－5.13～表－5.14 に示し、土研式 CCT250 サイクル後，ＪＩＳ式 CCT1000 サイクル後の付着性評価および記録写真を写真－5.3 に示す。

土研式 CCT およびＪＩＳ式 CCT のいずれの試験においても、暴露試験の再現性が認められた。ST-1 は、一般部、カット部ともに便覧 C-4 と同等の結果を示したが、ST-2 は便覧 C-4 に比べて一般部は同等であるもののカット部において防食性がやや劣る傾向を示した。

また、付着性評価については、ST-1，ST-2 ともに付着力（MPa）は便覧 C-4 より低い値を示したが、塗膜劣化を示すような低い数値ではなく付着性は健全と判断できる。

表－5.13　塗膜外観（土研式 CCT）

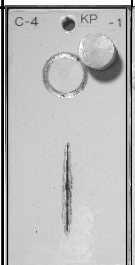
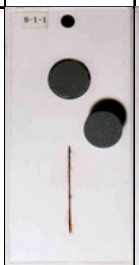
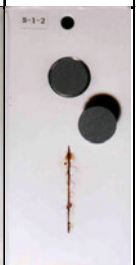
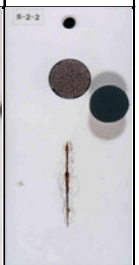
提案塗装系№	試験板№	10サイクル		30サイクル		50サイクル		100サイクル		150サイクル		200サイクル		250サイクル	
		一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部
便覧C-4（基準）	K-C-4	○	0mm	○	0mm	○	0mm	○	0mm	○	2mm	○	2mm	○	3mm
ST-1（C-4）	S-1	—	—	—	—	○	0mm	○	0mm	○	1mm	○	2mm	○	2mm
ST-2（C-4）	S-2	○	0mm	○	3mm	○	5mm	○	5mm	○	5mm	○	5mm	○	16mm

注1：一般部評価の○は異状なしを示す。
注2：提案仕様1の１０ｻｲｸﾙ、３０ｻｲｸﾙについては、試験板を再作成したため点検を行わなかった。

表－5.14　塗膜外観（JIS 式 CCT）

提案塗装系№	試験板№	200サイクル		400サイクル		600サイクル		800サイクル		1000サイクル	
		一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部
便覧C-4（基準）	K-C-4	○	0mm	○	2mm	○	3mm	○	3mm	○	3mm
ST-1（C-4）	S-1	○	2mm	○	3mm	○	3mm	○	4mm	○	4mm
ST-2（C-4）	S-2	○	2mm	○	2mm	○	3mm	○	3mm	○	5mm

注1：一般部評価の○は異状なしを示す。

試験板№	土研式	ＪＩＳ式	試験板№	土研式	ＪＩＳ式	試験板№	土研式	ＪＩＳ式
便覧C-４（基準）			ＳＴ－１（Ｃ－４）			ＳＴ－２（Ｃ－４）		
付着力(MPa)	3.1	3.2	付着力(MPa)	1.8	2.0	付着力(MPa)	2.2	2.4
はく離箇所	接着剤100%	下塗80%、接15%、ｼﾞﾝｸ5%	はく離箇所	ｼﾞﾝｸ100%	ｼﾞﾝｸ100%	はく離箇所	素地	素地

写真－5.3　付着性および記録写真（ＪＩＳ式 CCT および土研式 CCT）

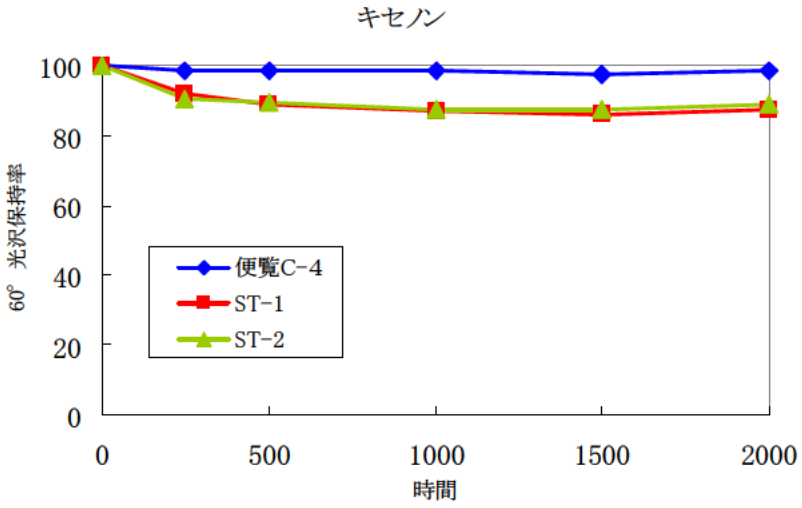
５．２．３　促進耐候性試験（キセノンランプ法）

キセノンランプ法による促進耐候性試験 2000 時間の光沢保持性に対する評価結果を表－5.15 および図－5.7 に示す。

ST-1, ST-2 に用いたシリコン変性アクリル樹脂塗料上塗は便覧 C-4 のふっ素樹脂塗料上塗の光沢保持率（98.4%）には及ばないものの 88%と高い保持率を示した。

表－5.15　光沢度

提案塗装系No.	試験片No.	測定点	照射時間					
			初期値	250	500	1000	1500	2000
便覧C-4（基準）	K-C-4	1	81.0	80.3	79.9	79.9	79.5	80.2
		2	80.7	79.2	79.1	79.1	78.4	78.9
		平均	80.9	79.8	79.5	79.5	79.0	79.6
ST-1（C-4）	S-1	1	78.3	71.6	69.5	67.6	67.0	68.4
		2	77.4	71.2	69.2	67.5	66.5	67.8
		平均	77.9	71.4	69.4	67.6	66.8	68.1
ST-2（C-4）	S-2	1	78.4	71.1	70.3	68.5	68.5	69.8
		2	77.4	69.9	68.8	68.1	67.5	68.6
		平均	77.9	70.5	69.6	68.3	68.0	69.2



図－5.7　促進耐候性試験による光沢保持率（%）

５．２．４　　塗膜性能試験

塗膜性能の評価結果を表－5.16 に示す。

ST-1 および ST-2 は、同一の厚膜形塗料（中塗・上塗）を用いているため測定試料は１試料とした。酸素透過性や透湿性などの環境遮断性は便覧 C-4 と同等の結果を示し、応力緩和能、破断ひずみ、破断応力などの塗膜物性は便覧 C-4 と同等以上の結果を示した。

表－5.16　塗膜性能評価

提案塗装系№	試験板№	酸素透過性	透湿度（水蒸気透過性）		塗膜物性		
					応力緩和	破断ひずみ	破断応力（最大点－応力）
		酸素透過係数 ($\times10^{-11}$)	透過度 (g/m²・24h)	透湿係数 ($\times10^{-3}$)	応力の半減期	最大伸び率(%)	(ｋｇｆ/㎠)
便覧C-4（基準）	K-C-4	0.80	2.6	0.99	70時間以上	3.4	236
ST-1 ST-2	S-1	0.68	3.3	1.37	23分	4.8	307

（注）　1）塗膜物性試験に供する塗膜は、ジンクリッチ塗膜を除いたシステムで評価を実施した。
2）酸素透過係数の単位　：　cm^3（ＳＴＰ）cm/cm^2ｓｅｃ・ｃｍＨｇ
3）透湿係数の単位　：　ｇ・ｃｍ/㎡・24ｈ・ｍｍＨｇ

５．３　まとめ

表－５.17 に試験項目別に便覧 C-4 仕様と提案塗装系との比較を示した。各試験結果より、以下のように考察する。

提案塗装系 ST-1 および ST-2 の共通点は、上塗に厚膜形のシリコン変性アクリル樹脂塗料上塗を用いた点である。シリコン変性アクリル樹脂塗料上塗は、耐候性（光沢保持率）では便覧 C-4 仕様のふっ素樹脂塗料上塗には及ばないが、これを厚膜化することによりふっ素樹脂塗料上塗の同程度の耐久性を目指している。

（１）提案塗装系 ST-1

光沢保持性は C-4 仕様に比べてやや劣るが防食性は同等である。厚膜形上塗を用いているため、塗膜の消耗量などからみた防食耐久性は便覧 C-4 仕様とほぼ同等と期待できるが、今後さらに暴露試験を継続して上塗の白亜化進行などを観察した上で判断する必要があると考える。

（２）提案塗装系 ST-2

防食性においてカット部からのさびの進行幅が C-4 仕様に比べてやや大きく、防食下地の性能差が認められているが、今後さらに暴露試験を継続して性能を見極めたいと考える。

表－5.17　試験結果対比一覧表

項目				基準	提案塗装系№	
				C-4	ST－1	ST-2
塗装系内訳	塗装回数			6	4	3
	塗装系（塗料品質）	厚膜ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ		無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	有機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ
		下塗		ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	低溶剤変性ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	低溶剤変性ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料
		中塗		ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料		
		上塗		ふっ素樹脂塗料	ｼﾘｺﾝ変性ｱｸﾘﾙ樹脂塗料	ｼﾘｺﾝ変性ｱｸﾘﾙ樹脂塗料
	塗膜厚　（μm）			250	255	285
	溶剤種別　（下塗・中塗・上塗）			強溶剤	強溶剤	強溶剤
	コスト指数　（削減率%）			100　(-)	72　(18)	71　(29)
1	屋外ばくろ試験（沖縄　3年間）	塗膜外観	一般部	○	○	○
			ｶｯﾄ部	○	○	△
		光沢保持率		○	△	△
		色差（△E^*_{ab}）		○	○	○
		付着性		○	○	○
		塗膜表面観察（機器）		○	○	○
		インピーダンス		○	○	○
		直流抵抗値		○	○	○
2	複合サイクル試験（土研式250サイクル）（ＪＩＳ式1000サイクル）	塗膜外観	一般部	○	○	○
			ｶｯﾄ部	○	○	△
		付着性		○	○	○
3	促進耐候性試験（キセノン2000時間）	光沢保持率		○	△	△
4	塗膜特性試験（厚膜ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄなし）	酸素透過性		○	○	
		透湿度（水蒸気透過度）		○	○	
		塗膜物性	伸び	○	○	
			強度	○	○	
			応力緩和能	○	◎	

注）塗膜特性試験および直流抵抗値については便覧Ｃ-4塗装系のデータとの比較

（評価基準）

◎	○	△	×
優れる	同等	やや劣る	劣る

６．大日本塗料株式会社　提案塗装系と試験結果

６．１　提案塗装系

表－6.1 および表－6.2 に、便覧 C-2 塗装系対応　便覧 C-4 塗装系対応のそれぞれの大日本塗料(株)の提案塗装系を示す。高耐候性ふっ素樹脂塗料２層目は、高耐候性酸化チタンの使用と配合面からの改良によるものである。

表－6.1　便覧 C-2 塗装系対応
（無機ジンクリッチペイント+エポキシ樹脂塗料＋ポリウレタン樹脂塗料中塗・上塗）

提案塗装系仕様No.	試験版No.	コンセプト	コスト指数	塗装系				
				第１層目	第２，３層目	第４，５層目	第６層目	合計膜厚（μm）
便覧C-2（基準）	D-C-2	標準	100	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ (75μm)	ミストコート ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料下塗×2 (60μm×2)	ﾎﾟﾘｳﾚﾀﾝ樹脂塗料用中塗 (30μm)	ﾎﾟﾘｳﾚﾀﾝ樹脂塗料上塗 (25μm)	250
DNT-1（C-2）	D-2	工程短縮 ミストｺｰﾄ削減 厚膜形下塗樹脂塗料 厚膜型ふっ素樹脂塗料	69 (31%減)	高摩擦有機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁ ﾍﾟｲﾝﾄ (75μm)	厚膜ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料下塗 (120μm)	厚膜ﾎﾟﾘｳﾚﾀﾝ樹脂塗料上塗 (75μm)	－	270
DNT-2（C-2）	D-5	工程短縮 環境対応	85 (15%減)	高摩擦有機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁ ﾍﾟｲﾝﾄ (75μm)	弱溶剤型ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料下塗×２ (60μm×2)	弱溶剤型ﾎﾟﾘｳﾚﾀﾝ樹脂塗料用中塗 (30μm)	弱溶剤型ﾎﾟﾘｳﾚﾀﾝ樹脂塗料上塗 (25μm)	250

（注）コスト指数について（算出基準は共通編のコスト計算基準を参照のこと）

提案塗装系No	試験版Ｎｏ	塗装系						合計金額（円/㎡）	コスト指数
		第１層目	第２層目	第３層目	第４層目	第５層目	第６層目		
便覧C-2（基準）	D-C-2	1063	569	685	685	551	575	4127	100
DNT-1（C2）	D-2	1017	984	827	－	－	－	2827	69
DNT-2（C2）	D-5	1017	681	681	549	573	－	3502	85

表－6.2　便覧 C-4 塗装系対応
（無機ジンクリッチペイント+エポキシ樹脂塗料＋ふっ素樹脂塗料中塗・上塗）

提案塗装系仕様No.	試験版No.	コンセプト	コスト指数	塗装系				
				第１層目	第２，３層目	第４，５層目	第６層目	合計膜厚（μm）
便覧C-4（基準）	K-C-4	標準	100	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ (75μm)	ミストコート ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料下塗×2 (60μm×2)	ふっ素樹脂塗料用中塗 (30μm)	ふっ素樹脂塗料上塗 (25μm)	250
DNT-1（C-4）	D-3	工程短縮 ミストｺｰﾄ削減 厚膜形下塗樹脂塗料 厚膜型ふっ素樹脂塗料	74 (26%減)	高摩擦有機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁ ﾍﾟｲﾝﾄ (75μm)	厚膜ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料下塗 (120μm)	厚膜ふっ素樹脂塗料上塗 (50μm)	－	245
DNT-2（C-4）	D-4	省工程、 超耐候性、LCC	86 (14%減)	高摩擦有機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁ ﾍﾟｲﾝﾄ (75μm)	厚膜ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料下塗 (120μm)	高耐侯ふっ素樹脂塗料１層 (25μm)	高耐侯ふっ素樹脂塗料２層 (25μm)	245

（注）コスト指数について（算出基準は共通編のコスト計算基準を参照のこと）

提案塗装系No	試験版Ｎｏ	塗装系						合計金額（円/㎡）	コスト指数
		第１層目	第２層目	第３層目	第４層目	第５層目	第６層目		
便覧C-4（基準）	K-C-4	1063	569	685	685	567	898	4466	100
DNT-1（C4）	D-3	1017	984	1282	－	－	－	3282	74
DNT-2（C4）	D-4	1017	984	928	928	－	－	3875	86

＊ミストｺｰﾄについて

・ミストコート用のシンナーは次工程に使用する塗料を160g/㎡使用

・ミストコート用のシンナーはミストコートに用いる塗料用のシンナーを50%希釈して使用

６．２　試験結果

６．２．１　屋外暴露試験

（１）塗膜外観および付着性

１）便覧 C-2 対応塗装系

屋外暴露試験３年間の塗膜外観観察および付着性評価結果を表－6.3～表－6.4 に、記録写真(表面)を写真－6.1 に示す。

塗膜外観観察において、一般部や白亜化の程度、付着性試験においては、標準となる便覧 C-2 塗装系と同等の性能を示した。

しかし、第１層目に高摩擦・厚膜形有機ジンクリッチペイントを用いたため、標準となる便覧 C-2 塗装系と比較して、カット部での防食性がやや劣る傾向が見られた。

表－6.3　便覧 C-2 対応　塗膜外観・付着性（沖縄）

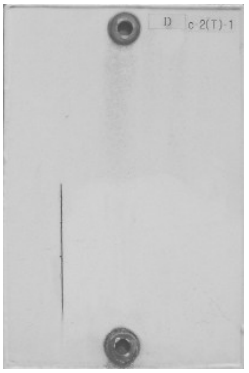
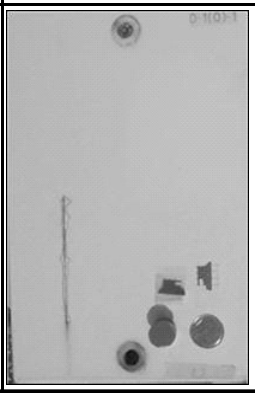
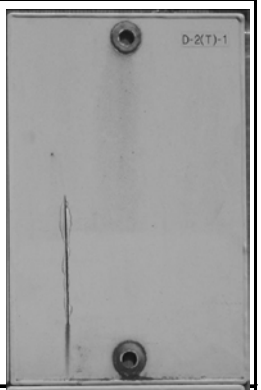
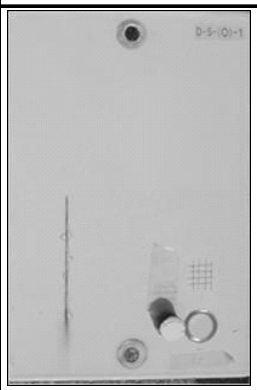
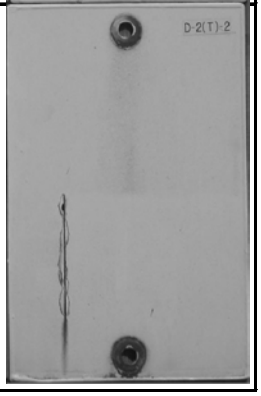
便覧Ｃ－２系				塗膜外観観察（沖縄）						付着性試験			
提案塗装系 No.	試験板No.	繰返し数	塗板の表裏	１年目結果		２年目結果		３年目結果		引っ張り付着強度		ﾃｰﾌﾟ付着（碁盤目）	
				一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	Mpa	剥離箇所	Mpa	剥離箇所
便覧C-2（基準）	D-C-2	1	表	○	0mm	○	0mm	○	0mm	1.5	接100%	８／９	素地/下地100%
			裏	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
		2	表	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
			裏	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
DNT-1（C-2）	D-2	1	表	○	0mm	○	2mm	○	8mm	2.2	接100%	８／９	素地/下地100%
			裏	○	0mm	○	2mm	○	5mm				
		2	表	○	0mm	○	4mm	○	5mm				
			裏	○	0mm	○	3mm	○	12mm				
DNT-２（C-2）	D-5	1	表	○	0mm	○	2mm	○	4mm	3.5	中/上100%	９／９	－
			裏	○	0mm	○	3mm	○	6mm				
		2	表	○	0mm	○	1mm	○	6mm				
			裏	○	0mm	○	4mm	○	9mm				

○：異状なし　　注）接：接着剤、中／上：中塗と上塗間

表－6.4　便覧 C-2 対応　塗膜外観（つくば）

便覧Ｃ－２系				塗膜外観観察（つくば）			
提案塗装系 No.	試験板No.	繰返し数	塗板の表裏	２年目結果		３年目結果	
				一般部	カット部	一般部	カット部
便覧C-2（基準）	D-C-2	1	表	○	0mm	○	2mm
			裏	○	0mm	○	0mm
		2	表	○	0mm	○	2mm
			裏	○	0mm	○	0mm
DNT-1（C-2）	D-2	1	表	○	2mm	○	5mm
			裏	○	0mm	○	0mm
		2	表	○	2mm	○	5mm
			裏	○	0mm	○	1mm
DNT-２（C-2）	D-5	1	表	○	2mm	○	4mm
			裏	○	2mm	○	2mm
		2	表	○	0mm	○	4mm
			裏	○	0mm	○	1mm

○：異状なし

試験板№	沖縄		つくば
	n-1	n-2 (付着試験後)	
D-C-2 (基準)			
D-2			
D-5			

写真－6.1　便覧 C-2 対応暴露３年後　記録写真（表面）

2）便覧 C-4 対応塗装系

屋外暴露試験３年間の塗膜外観観察および付着性評価結果を表－6.5～表－6.6 に、記録写真(表面)を写真－6.2 に示す。

塗膜外観観察において、一般部や白亜化の程度、付着性試験においては、標準となる便覧 C-4 塗装系と同等の性能を示した。

しかし、第１層目に高摩擦・厚膜形有機ジンクリッチペイントを用いたため、標準となる便覧 C-4 塗装系と比較してカット部での防食性がやや劣る傾向が見られた。

表－6.5　便覧 C-4 対応　塗膜外観・付着性（沖縄）

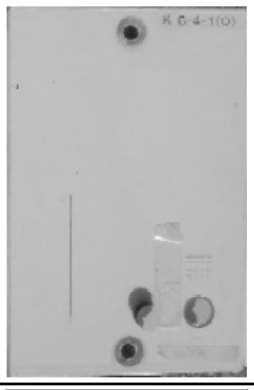
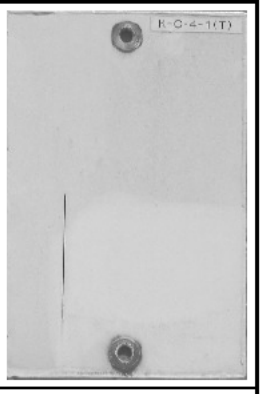
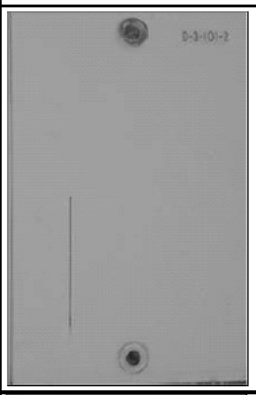
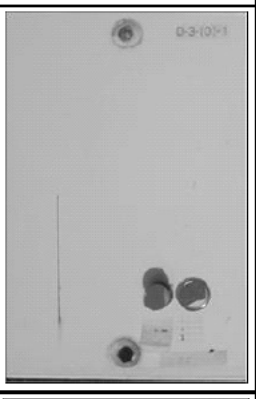
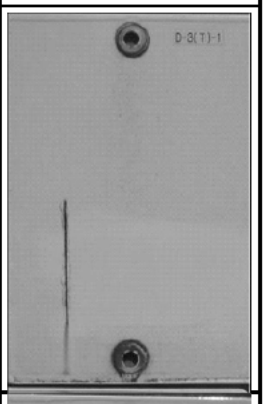
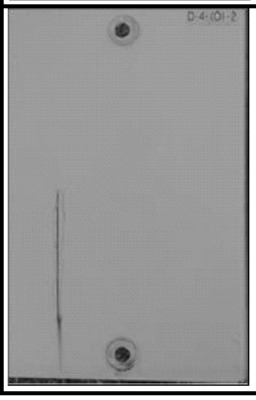
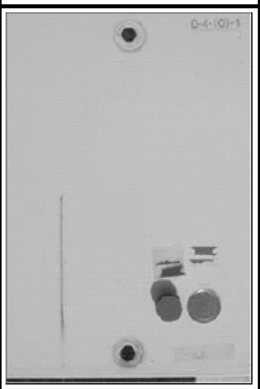
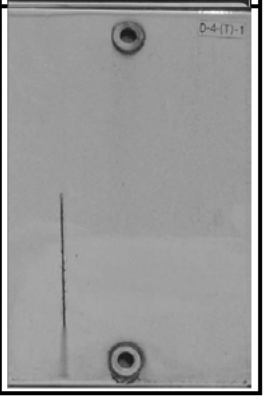
便覧Ｃ－４系				塗膜外観観察（沖縄）						付着性試験			
提案塗装系 No.	試験板No.	繰返し数	塗板の表裏	１年目結果		２年目結果		３年目結果		引っ張り付着強度		ﾃｰﾌﾟ付着（碁盤目）	
				一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	MPa	剥離箇所	MPa	剥離箇所
便覧C-4（基準）	K-C-4	1	表	○	0mm	○	0mm	○	0mm	5.0	接100%	９／９	－
			裏	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
		2	表	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
			裏	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
DNT-1（C-4）	D-3	1	表	○	0mm	○	1mm	○	1mm	5.5	素地80% 接　20%	９／９	－
			裏	○	0mm	○	1mm	○	7mm				
		2	表	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
			裏	○	0mm	○	1mm	○	8mm				
DNT-２（C-4）	D-4	1	表	○	0mm	○	1mm	○	3mm	2.8	素地100%	９／９	－
			裏	○	0mm	○	1mm	○	14mm				
		2	表	○	0mm	○	3mm	○	5mm				
			裏	○	0mm	○	2mm	○	4mm				

○：異状なし　　注）接：接着剤、中／上：中塗と上塗間

表－6.6　便覧 C-4 対応　塗膜外観・付着性（つくば）

便覧Ｃ－４系				塗膜外観観察（つくば）			
提案塗装系 No.	試験板No.	繰返し数	塗板の表裏	２年目結果		３年目結果	
				一般部	カット部	一般部	カット部
便覧C-4（基準）	K-C-4	1	表	○	0mm	○	0mm
			裏	○	0mm	○	0mm
		2	表	○	0mm	○	0mm
			裏	○	0mm	○	0mm
DNT-1（C-4）	D-3	1	表	○	2mm	○	4mm
			裏	○	0mm	○	0mm
		2	表	○	1mm	○	4mm
			裏	○	0mm	○	2mm
DNT-２（C-4）	D-4	1	表	○	1mm	○	3mm
			裏	○	0mm	○	0mm
		2	表	○	3mm	○	4mm
			裏	○	0mm	○	0mm

○：異状なし

試験板No.	沖縄		つくば
	n-1	n-2 (付着試験後)	
K-C-4 (基準)			
D-3			
D-4			

写真－6.2　便覧 C-4 対応暴露３年後　記録写真（表面）

（2）光沢度

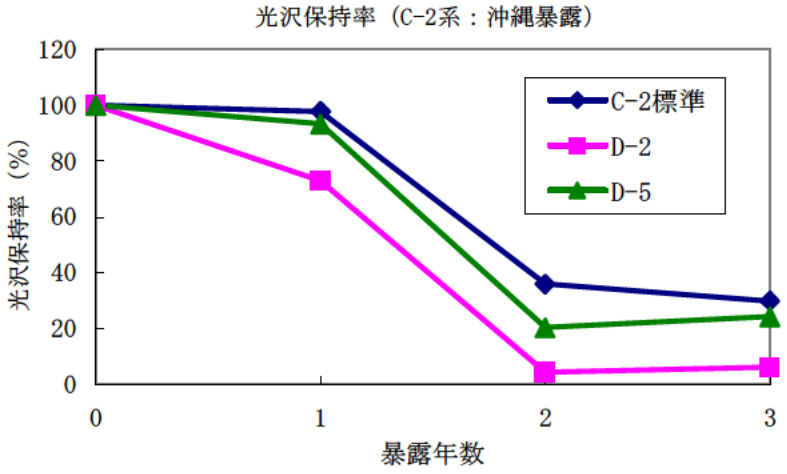
1）便覧 C-2 対応塗装系

光沢度(60 度鏡面光沢度)の評価結果を表－6.7～表－6.8 と図－6.1～図－6.2 に示す。

提案塗装系 D-2 沖縄にて標準より光沢保持率の低下が見られたが、標準となる便覧 C-2 塗装系と比較して、D-2，D-5 はつくばでは同等以上、D-5 は沖縄では優れた暴露耐候性を示した。

表－6.7　便覧 C-2 対応　光沢度（沖縄暴露３年後）

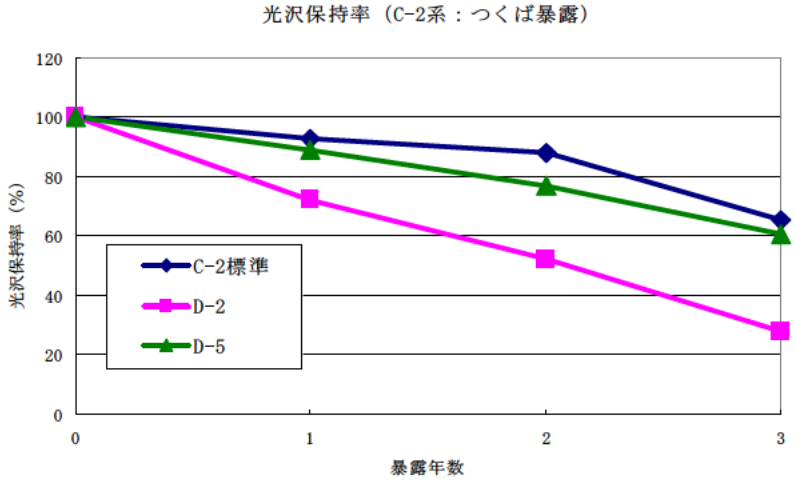
提案塗装系 No.	試験板No.	表裏	初期値	水洗前		水洗後	
				光沢値	保持率	光沢値	保持率
便覧C-2（基準）	D-C-2	表	86.9	19.9	21.4	34.9	35.6
			88.3	18.3		28.5	
			89.2	18.5		30.8	
		平均値	88.1	18.9		31.4	
		裏	89.6	71.6	78.4	85.4	94.9
			89.7	73.6		84.7	
			89.2	65.4		84.6	
		平均値	89.5	70.2		84.9	
DNT-1（C-2）	D-2	表	69.9	3.0	4.6	3.4	5.7
			69.2	3.3		4.0	
			69.8	3.3		4.6	
		平均値	69.6	3.2		4.0	
		裏	61.6	42.2	72.2	44.9	76.4
			57.6	42.9		45.2	
			57.0	42.1		44.5	
		平均値	58.7	42.4		44.9	
DNT-2（C-2）	D-5	表	80.4	5.5	7.0	19.1	23.7
			82.6	5.7		18.7	
			82.8	6.0		20.5	
		平均値	81.9	5.7		19.4	
		裏	70.1	58.8	79.4	66.6	90.8
			73.2	57.0		65.8	
			73.5	56.3		64.4	
		平均値	72.3	57.4		65.6	



図－6.1　便覧 C-2 対応　光沢度（沖縄暴露３年）

表－6.8　便覧 C-2 対応　光沢度（つくば暴露３年後）

提案塗装系 No.	試験板No.	表裏	初期値	水洗前		水洗後	
				光沢値	保持率	光沢値	保持率
便覧C-2（基準）	D-C-2	表	87.4	49.7	55.4	58.4	65.2
			89.0	48.4		57.5	
			89.2	49.1		57.3	
		平均値	88.5	49.1		57.7	
		裏	88.8	84.5	96.8	86.1	97.5
			89.5	86.8		86.3	
			86.2	84.7		85.5	
		平均値	88.2	85.3		86.0	
DNT-1（C-2）	D-2	表	69.7	11.8	16.5	22.3	32.1
			68.6	11.1		20.5	
			66.9	11.0		23.0	
		平均値	68.4	11.3		21.9	
		裏	56.3	46.2	81.3	46.9	83.6
			55.7	45.6		47.1	
			56.1	44.9		46.5	
		平均値	56.0	45.6		46.8	
DNT-2（C-2）	D-5	表	81.4	29.0	36.3	53.6	67.2
			80.7	30.5		52.4	
			81.9	29.0		58.0	
		平均値	81.3	29.5		54.7	
		裏	75.7	66.1	89.4	70.9	95.2
			76.0	66.9		71.3	
			70.6	65.8		69.4	
		平均値	74.1	66.3		70.5	



図－6.2　便覧 C-2 対応　光沢度（つくば暴露３年）

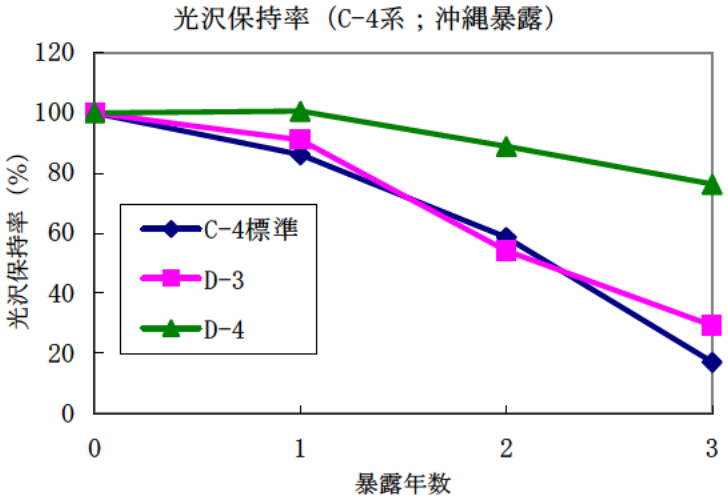
2）便覧 C-4 対応塗装系

光沢度(60 度鏡面光沢度)の評価結果を表-6.9～表-6.10 と図-6.3～図-6.4 に示す。

標準となる便覧 C-4 塗装系と比較して、提案塗装系 D-3,D-4 とも、つくば、沖縄で同等以上の優れた暴露耐候性を示した。

表－6.9　便覧 C-4 対応　光沢度（沖縄暴露３年後）

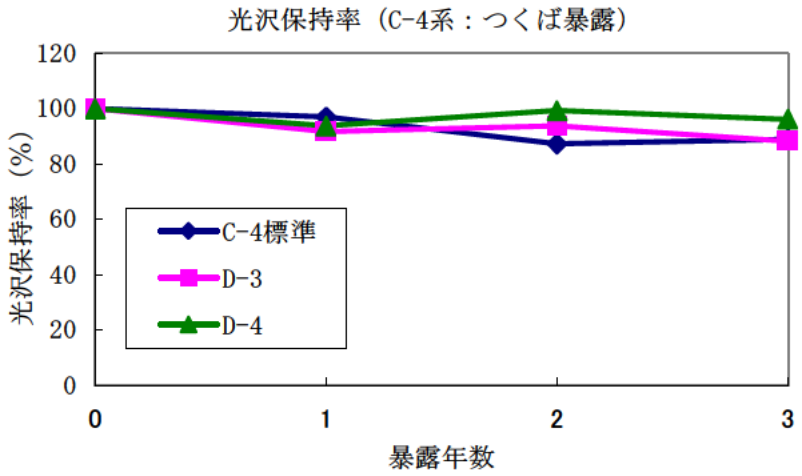
提案塗装系 No.	試験板No.	表裏	初期値	水洗前		水洗後	
				光沢値	保持率	光沢値	保持率
便覧C-4（基準）	K-C-4	表	75.3	17.0	21.9	11.5	15.9
			76.4	15.2		11.9	
			71.0	16.6		12.0	
		平均値	74.2	16.3		11.8	
		裏	80.1	72.5	84.2	71.1	90.3
			78.8	65.4		72.8	
			79.3	62.7		71.3	
		平均値	79.4	66.9		71.7	
DNT-1（C-4）	D-3	表	77.5	21.4	26.7	22.3	29.1
			77.9	20.5		22.5	
			79.1	20.7		23.4	
		平均値	78.2	20.9		22.7	
		裏	76.0	53.6	73.2	66.4	85.8
			76.8	56.1		65.5	
			76.5	58.1		64.8	
		平均値	76.4	55.9		65.6	
DNT-2（C-4）	D-4	表	79.0	56.3	69.8	59.8	77.4
			80.6	54.5		60.0	
			75.0	52.9		61.8	
		平均値	78.2	54.6		60.5	
		裏	82.5	66.0	83.1	75.6	91.6
			82.1	71.6		77.3	
			82.0	67.3		73.0	
		平均値	82.2	68.3		75.3	



図－6.3　便覧 C-4 対応　光沢度（沖縄暴露３年）

表－6.10　便覧 C-4 対応　光沢度（つくば暴露３年後）

提案塗装系 No.	試験板No.	表裏	初期値	水洗前		水洗後	
				光沢値	保持率	光沢値	保持率
便覧C-4（基準）	K-C-4	表	78.2	43.0	54.8	64.9	81.2
			75.8	41.2		61.0	
			74.6	41.0		59.7	
		平均値	76.2	41.7		61.9	
		裏	77.6	71.6	91.0	73.5	93.7
			80.0	73.0		76.1	
			79.4	71.1		72.5	
		平均値	79.0	71.9		74.0	
DNT-1（C-4）	D-3	表	75.3	54.7	72.6	71.0	94.3
			75.1	54.6		69.5	
			74.2	53.7		71.2	
		平均値	74.9	54.3		70.6	
		裏	74.2	68.4	93.3	72.2	96.3
			74.5	69.6		70.8	
			73.3	69.1		70.8	
		平均値	74.0	69.0		71.3	
DNT-2（C-4）	D-4	表	82.1	61.0	76.2	79.2	96.9
			78.1	61.7		77.4	
			81.1	61.2		77.2	
		平均値	80.4	61.3		77.9	
		裏	76.7	72.6	95.6	79.4	101.7
			81.5	76.9		79.8	
			78.0	76.2		80.9	
		平均値	78.7	75.2		80.0	



図－6.4　便覧 C-4 対応　光沢度（つくば暴露３年）

（3）色差

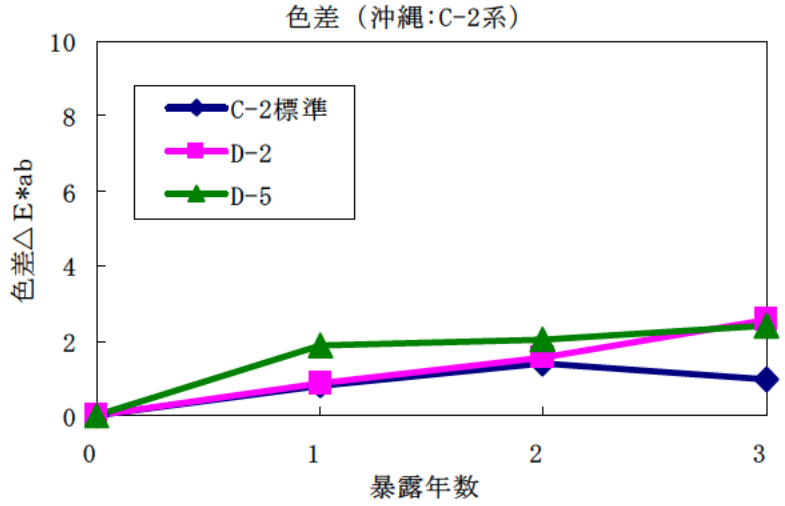
1）便覧 C-2 対応塗装系

色差の評価結果を表－6.11～表－6.12 と図－6.5～図－6.6 に示す。

提案塗装系 D-2 は厚膜形ポリウレタン樹脂塗料、D-5 は弱溶剤形ポリウレタン樹脂塗料上塗りである。標準となる便覧 C-2 塗装系と比較して、両提案塗装系とも、つくば、沖縄とも同等レベルを示した。

表－6.11　便覧 C-2 対応　色差（沖縄暴露３年後）

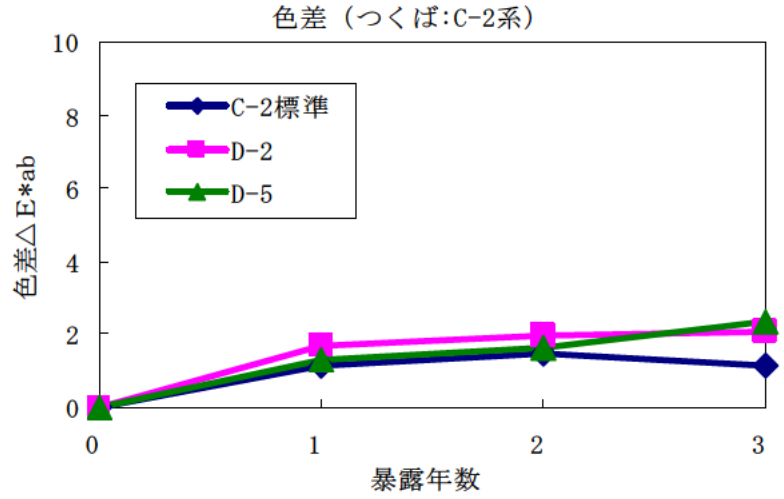
提案塗装系 No.	試験板 No.	表裏	初期値			水洗前					水洗後				
			L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	$\triangle L^*$	$\triangle E^*_{ab}$	L^*	a^*	b^*	$\triangle L^*$	$\triangle E^*_{ab}$
便覧C-2（基準）	D-C-2	表	95.61	-0.40	0.43	94.36	-0.56	2.98	-1.62	3.15	95.54	-0.55	1.91	-0.16	1.51
			95.59	-0.41	0.38	93.60	-0.58	3.23			95.34	-0.54	1.89		
		平均値	95.60	-0.41	0.41	93.98	-0.57	3.11			95.44	-0.55	1.90		
		裏	95.11	-0.50	0.06	93.84	-0.52	2.23	-2.54	2.96	95.35	-0.50	1.35	0.13	1.35
			95.19	-0.47	0.07	91.39	-0.95	0.90			95.22	-0.51	1.47		
		平均値	95.15	-0.49	0.07	92.62	-0.74	1.57			95.29	-0.51	1.41		
DNT-1 (C-2)	D-2	表	95.18	-0.39	0.84	94.12	-0.67	4.69	-1.08	3.95	94.90	-0.59	3.00	-0.33	2.31
			95.05	-0.42	0.77	93.95	-0.64	4.51			94.67	-0.61	3.16		
		平均値	95.12	-0.41	0.81	94.04	-0.66	4.60			94.79	-0.60	3.08		
		裏	93.81	-0.43	-0.33	93.67	-0.80	1.28	-0.12	1.86	93.95	-0.69	1.02	0.15	1.54
			93.70	-0.48	-0.39	93.60	-0.83	1.64			93.86	-0.73	1.29		
		平均値	93.76	-0.46	-0.36	93.64	-0.82	1.46			93.91	-0.71	1.16		
DNT-2 (C-2)	D-5	表	95.10	-0.51	-0.61	94.84	-0.67	1.33	-0.44	1.96	95.56	-0.69	0.66	0.39	1.37
			95.14	-0.46	-0.60	94.51	-0.69	1.26			95.46	-0.64	0.74		
		平均値	95.12	-0.49	-0.61	94.68	-0.68	1.30			95.51	-0.67	0.70		
		裏	93.71	-0.45	-0.77	93.87	-0.85	1.13	0.27	1.83	94.32	-0.71	0.75	-0.37	1.62
			93.70	-0.44	-0.68	94.07	-0.75	0.97			92.35	-0.86	0.88		
		平均値	93.71	-0.45	-0.73	93.97	-0.80	1.05			93.34	-0.79	0.82		



図－6.5　便覧 C-2 対応　色差（沖縄暴露３年）

表－6.12　便覧 C-2 対応　色差（つくば）

提案塗装系 No.	試験板 No.	表裏	初期値			水洗前					水洗後				
			L*	a*	b*	L*	a*	b*	△L*	△E*ab	L*	a*	b*	△L*	△E*ab
便覧C-2 (基準)	D-C-2	表	95.55	-0.38	0.48	94.40	-0.60	2.80	-1.05	2.62	95.34	-0.60	1.91	-0.21	1.44
			95.61	-0.41	0.50	94.65	-0.54	2.96			95.40	-0.58	1.89		
		平均値	95.58	-0.40	0.49	94.53	-0.57	2.88			95.37	-0.59	1.90		
		裏	95.21	-0.48	0.60	93.75	-0.55	2.12	-1.51	2.07	95.12	-0.50	1.40	-0.08	0.79
			95.26	-0.51	0.68	93.70	-0.78	1.96			95.20	-0.48	1.45		
		平均値	95.24	-0.50	0.64	93.73	-0.67	2.04			95.16	-0.49	1.43		
DNT-1 (C-2)	D-2	表	95.29	-0.36	1.26	91.47	-0.23	3.04	-3.69	4.06	94.51	-0.47	2.66	-0.73	1.50
			95.29	-0.38	1.31	91.74	-0.35	2.92			94.62	-0.42	2.54		
		平均値	95.29	-0.37	1.29	91.61	-0.29	2.98			94.57	-0.45	2.60		
		裏	93.84	-0.45	0.13	92.47	-0.54	1.62	-1.50	2.03	93.42	-0.57	1.13	-0.35	1.04
			93.70	-0.48	0.12	92.08	-0.50	1.36			93.42	-0.60	1.06		
		平均値	93.77	-0.47	0.13	92.28	-0.52	1.49			93.42	-0.59	1.10		
DNT-2 (C-2)	D-5	表	95.31	-0.52	-0.14	90.35	-0.34	1.65	-4.52	4.85	94.70	-0.51	1.08	-0.74	1.49
			95.17	-0.58	-0.15	91.09	-0.31	1.53			94.31	-0.50	1.23		
		平均値	95.24	-0.55	-0.15	90.72	-0.33	1.59			94.51	-0.51	1.16		
		裏	94.13	-0.44	-0.22	92.02	-0.48	1.78	-2.04	2.83	93.14	-0.59	1.30	-0.77	1.73
			93.91	-0.53	-0.24	91.95	-0.51	1.70			93.36	-0.55	1.33		
		平均値	94.02	-0.49	-0.23	91.99	-0.50	1.74			93.25	-0.57	1.32		



図－6.6　便覧 C-2 対応　色差（つくば暴露３年）

2）便覧 C-4 対応塗装系

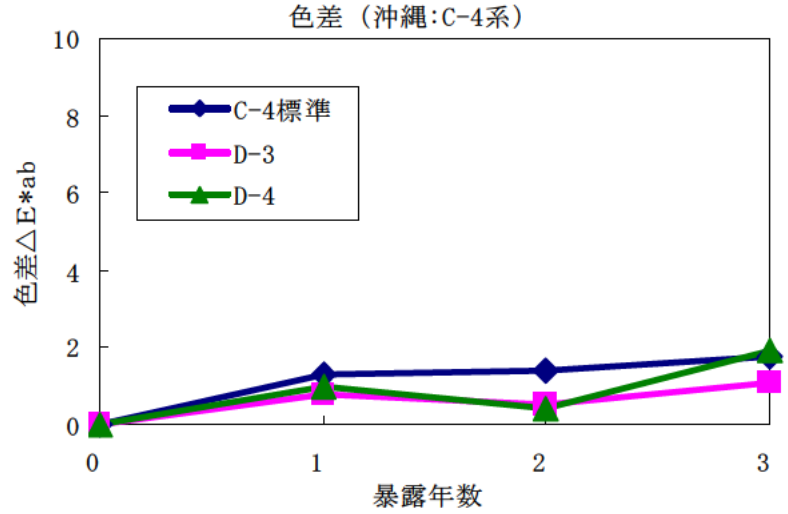
色差の評価結果を表－6.13～表－6.14 と図－6.7～図－6.8 に示す。

提案塗装系 D-3 は厚膜形ふっ素樹脂塗料、D-4 は高耐候性ふっ素樹脂塗料上塗り塗料である。

標準となる便覧 C-4 塗装系と比較して、両提案塗装系とも、つくば、沖縄とも同等レベル以上の性能を示した。

表－6.13　便覧 C-4 対応　色差（沖縄）

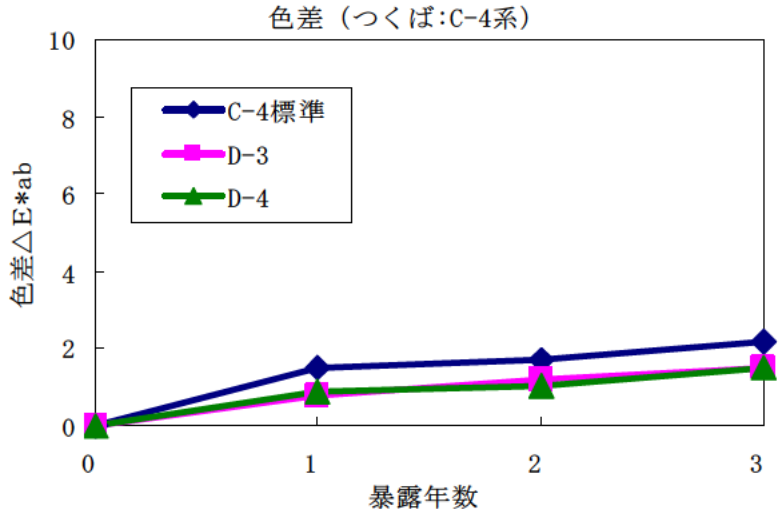
提案塗装系 No.	試験板 No.	表裏	初期値			水洗前					水洗後				
			L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	$\triangle L^*$	$\triangle E^*_{ab}$	L^*	a^*	b^*	$\triangle L^*$	$\triangle E^*_{ab}$
便覧C-4 (基準)	K-C-4	表	95.30	-0.30	1.03	93.38	-0.35	3.62	-1.91	3.20	94.43	-0.38	2.98	-0.89	2.16
			95.35	-0.29	1.04	93.45	-0.33	3.59			94.43	-0.44	3.01		
		平均値	95.33	-0.30	1.04	93.42	-0.34	3.61			94.43	-0.41	3.00		
		裏	95.72	-0.33	1.32	93.48	-0.38	2.90	-3.70	3.97	95.48	-0.40	2.49	-2.33	2.55
			95.75	-0.29	1.42	90.59	-0.58	2.70			91.34	-0.78	2.26		
		平均値	95.74	-0.31	1.37	92.04	-0.48	2.80			93.41	-0.59	2.38		
DNT-1 (C-4)	D-3	表	95.09	-0.52	-0.60	94.03	-0.79	1.53	-0.94	2.50	94.63	-0.78	1.17	-0.67	2.18
			94.77	-0.56	-0.75	93.96	-0.77	1.74			93.90	-0.82	1.60		
		平均値	94.93	-0.54	-0.68	94.00	-0.78	1.64			94.27	-0.80	1.39		
		裏	94.51	-0.50	-0.87	94.04	-0.80	0.36	-0.29	1.21	94.69	-0.76	-0.23	0.09	0.78
			94.57	-0.60	-0.82	94.46	-0.79	0.25			94.57	-0.81	0.01		
		平均値	94.54	-0.55	-0.85	94.25	-0.80	0.31			94.63	-0.79	-0.11		
DNT-2 (C-4)	D-4	表	94.95	-0.60	0.65	93.76	-0.61	2.74	-1.16	2.36	94.66	-0.71	2.10	-0.26	1.38
			95.03	-0.60	0.70	93.91	-0.62	2.73			94.81	-0.72	1.95		
		平均値	94.99	-0.60	0.68	93.84	-0.62	2.74			94.74	-0.72	2.03		
		裏	95.15	-0.63	0.58	94.36	-0.63	1.39	-2.73	2.85	92.81	-0.89	0.74	-3.32	3.34
			95.19	-0.61	0.62	90.52	-0.98	1.43			90.89	-0.91	0.89		
		平均値	95.17	-0.62	0.60	92.44	-0.81	1.41			91.85	-0.90	0.82		



図－6.7　便覧 C-4 対応　色差（沖縄暴露３年）

表－6.14　便覧 C-4 対応　色差（つくば）

提案塗装系 No.	試験板 No.	表裏	初期値			水洗前					水洗後				
			L*	a*	b*	L*	a*	b*	△L*	△E*ab	L*	a*	b*	△L*	△E*ab
便覧C-4 (基準)	K-C-4	表	95.60	-0.36	1.56	89.23	-0.02	3.35	-6.43	6.68	93.51	-0.23	2.79	-2.00	2.30
			95.63	-0.36	1.53	89.13	-0.07	3.30			93.72	-0.24	2.55		
		平均値	95.62	-0.36	1.55	89.18	-0.05	3.33			93.62	-0.24	2.67		
		裏	94.45	-0.22	2.03	93.07	-0.28	3.09	-1.88	2.12	95.32	-0.40	2.38	0.11	0.41
			95.60	-0.26	1.92	93.23	-0.34	2.83			94.96	-0.41	2.29		
		平均値	95.03	-0.24	1.98	93.15	-0.31	2.96			95.14	-0.41	2.34		
DNT-1 (C-4)	D-3	表	95.85	-0.65	0.19	89.71	-0.16	1.36	-5.14	5.30	94.37	-0.35	0.12	-0.87	0.93
			95.06	-0.70	-0.04	90.93	-0.18	1.25			94.79	-0.39	-0.04		
		平均値	95.46	-0.68	0.08	90.32	-0.17	1.31			94.58	-0.37	0.04		
		裏	94.59	-0.63	-0.37	93.60	-0.40	-0.26	-1.50	1.55	94.56	-0.39	-0.36	-0.17	0.28
			94.98	-0.66	-0.25	92.98	-0.38	0.23			94.66	-0.46	-0.34		
		平均値	94.79	-0.65	-0.31	93.29	-0.39	-0.02			94.61	-0.43	-0.35		
DNT-2 (C-4)	D-4	表	95.39	-0.69	1.28	89.83	-0.09	2.46	-5.89	6.06	93.97	-0.28	1.39	-1.33	1.39
			95.39	-0.70	1.27	89.17	-0.06	2.67			94.15	-0.32	1.42		
		平均値	95.39	-0.70	1.28	89.50	-0.08	2.57			94.06	-0.30	1.41		
		裏	95.13	-0.66	1.07	92.86	-0.50	1.68	-2.13	2.20	94.73	-0.62	1.17	-0.53	0.54
			95.24	-0.70	1.16	93.25	-0.57	1.65			94.58	-0.62	1.24		
		平均値	95.19	-0.68	1.12	93.06	-0.54	1.67			94.66	-0.62	1.21		



図－6.8　便覧 C-4 対応　色差（つくば暴露３年）

（4）塗膜表面観察

1）便覧 C-2 塗装系（D-C-2）

上塗り（強溶剤形ポリウレタン樹脂塗料上塗）塗膜の屋外暴露試験開始前と沖縄暴露試験３年後の表面状態を観察することで、塗膜の劣化状態の把握を行った。

①走査型電子顕微鏡観察

写真-6.3 に走査型電子顕微鏡（以下、SEM と記す）で塗膜表面を観察した結果を示す。暴露３年で塗膜表面の樹脂層が消失し始め、顔料が露出し始めていることが確認できた。

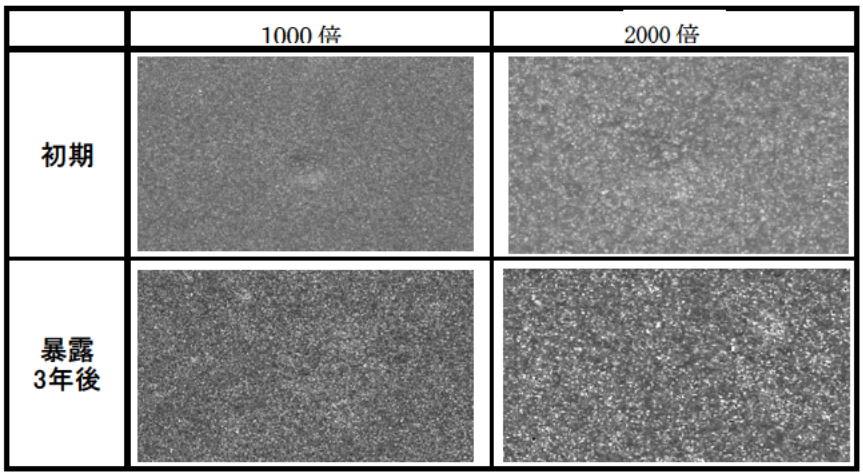
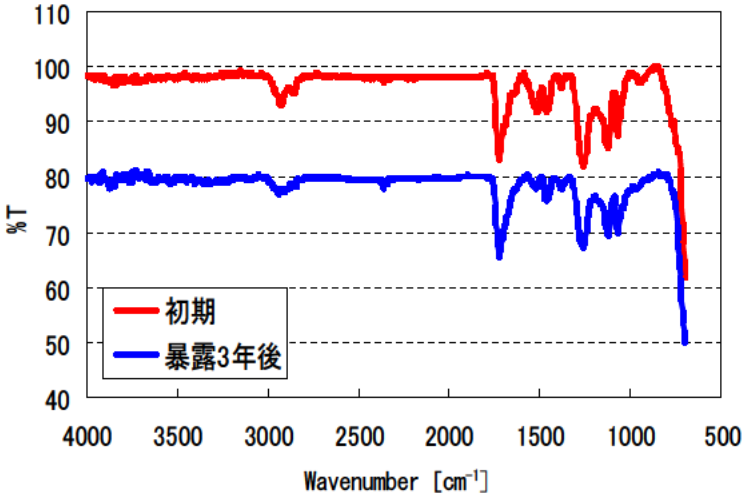


写真-6.3　SEM による塗膜表面状態の観察

②FT-IR 観察

図－6.9 に FT-IR で表面樹脂の劣化状態を観察した結果を示した。

また、表－6.15 に樹脂劣化過程において変化が顕在化すると思われる特定吸収部位での吸光度比の解析結果を示したが、暴露試験３年でウレタン結合がやや消失傾向にあることが確認された。



表－6.15　特定吸収部位での吸光度比の解析結果

吸光度比	A/B
初期	0.08
３年後	0.05

A：1540cm^{-1}　ウレタン結合の C-N 伸縮振動、N-H 変角振動

B：1730cm^{-1}　C=O 伸縮振動（エステル結合）

図－6.9　FT-IR チャート

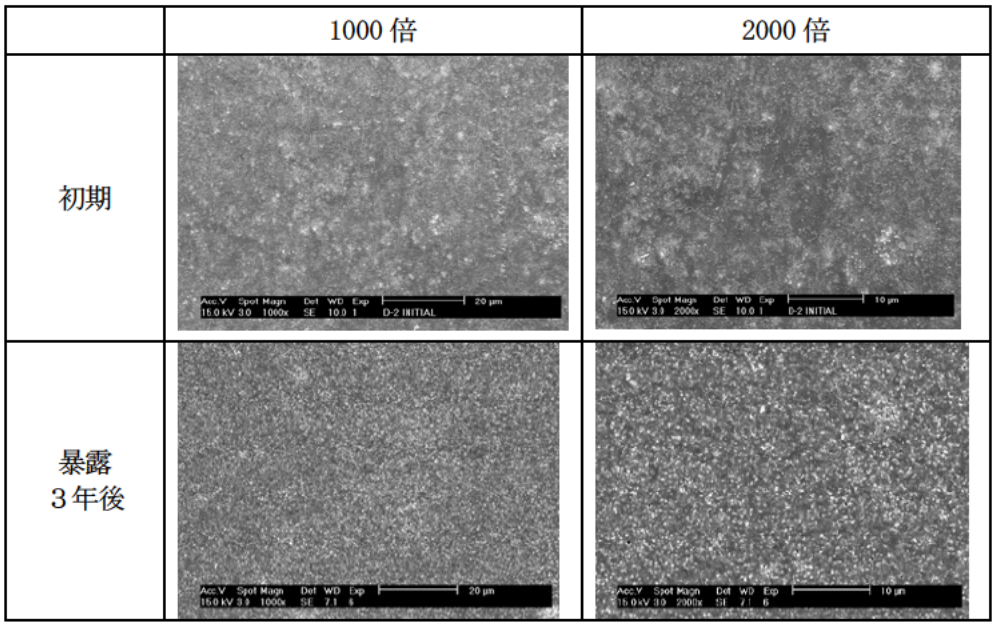
2）D-2（厚膜形ポリウレタン樹脂塗料上塗）

上塗り（厚膜形ポリウレタン樹脂塗料）塗膜の屋外暴露試験開始前と沖縄暴露試験３年後の表面状態を観察することで、塗膜の劣化状態の把握を行った。

①走査型電子顕微鏡観察

写真－6.4 に SEM で塗膜表面を観察した結果を示す。

暴露３年で塗膜表面の樹脂層が劣化・消失し始めていることが確認できた。

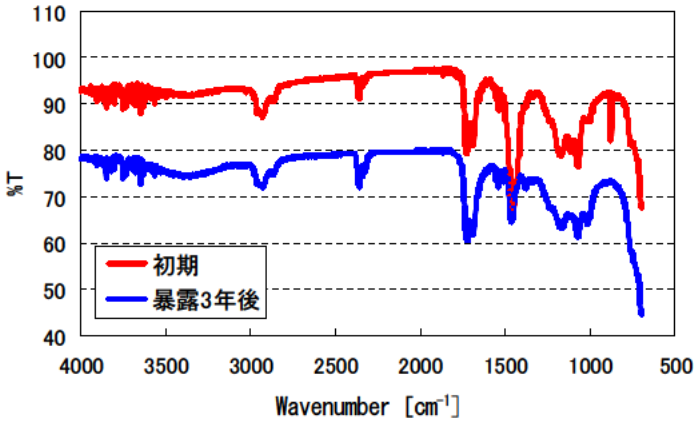


写真－6.4　SEM による塗膜表面状態の観察

②FT-IR 観察

図－6.10 に FT-IR で表面樹脂の劣化状態を観察した結果を示した。

また、表－6.16 に樹脂劣化過程において変化が顕在化すると思われる特定吸収部位での吸光度比の解析結果を示したが、暴露試験３年でもウレタン結合がやや消失傾向にある。



表－6.16　特定吸収部位での吸光度比の解析結果

吸光度比	A/B
初期	0.915
３年後	0.865

A：1540cm^{-1}　ウレタン結合の C-N 伸縮振動、N-H 変角振動

B：1730cm^{-1}　C=O 伸縮振動（エステル結合）

図－6.10　FT-IR チャート

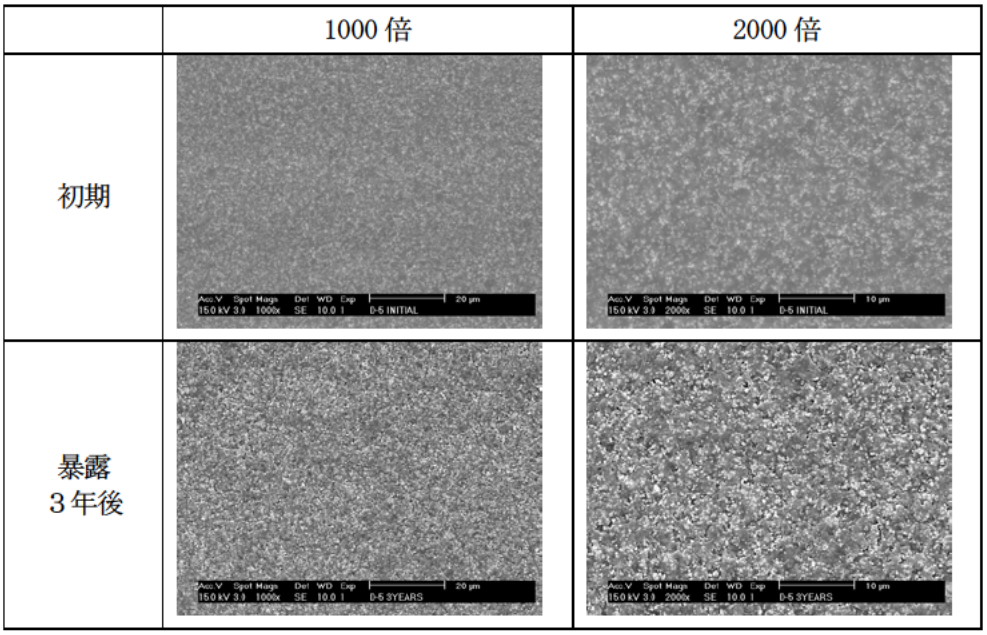
3）D-5（弱溶剤形ポリウレタン樹脂塗料上塗）

上塗り(弱溶剤形ポリウレタン脂塗料上塗)塗膜の屋外暴露試験開始前と沖縄暴露試験３年後の表面状態を観察することで、塗膜の劣化状態の把握を行った。

①走査型電子顕微鏡観察

写真－6.5 に SEM で塗膜表面を観察した結果を示す。

暴露３年で塗膜表面の樹脂層が劣化・消失し始めていることが確認できた。

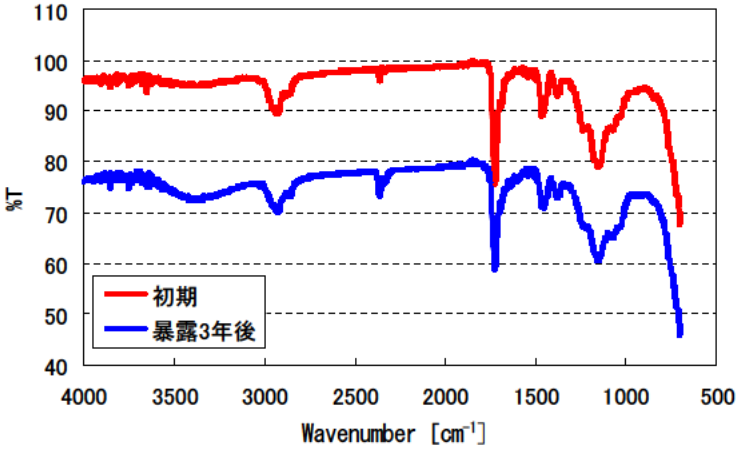


写真－6.5　SEM による塗膜表面状態の観察

②FT-IR 観察

図－6.11 に FT-IR で表面樹脂の劣化状態を観察した結果を示す。

また、表－6.17 に樹脂劣化過程において変化が顕在化すると思われる特定吸収部位での吸光度比の解析結果を示したが、暴露試験３年でもほとんど変化は生じていなかった。



図－6.11　FT-IR チャート

表－6.17　特定吸収部位での吸光度比の解析結果

吸光度比	A/B
初期	0.326
３年後	0.380

A：1540cm^{-1}　ウレタン結合の C-N 伸縮振動、N-H 変角振動

B：1730cm^{-1}　C=O 伸縮振動（エステル結合）

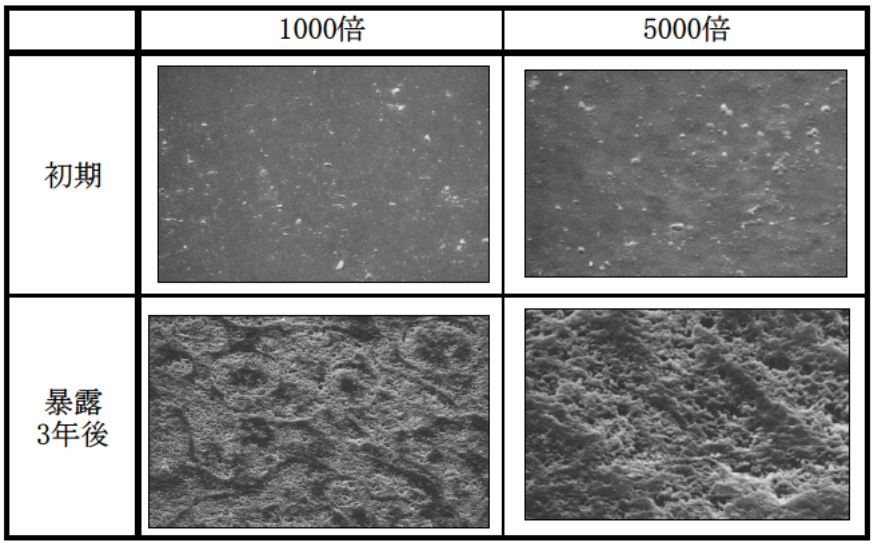
4）便覧 C-4 塗装系（K-C-4）

上塗り(強溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗)塗膜の屋外暴露試験開始前と沖縄暴露試験３年後の表面状態を観察することで、塗膜の劣化状態の把握を行った。

①走査型電子顕微鏡観察

写真－6.6 に SEM で塗膜表面を観察した結果を示す。

暴露３年で塗膜表面の樹脂層が劣化・消失し始めていることが確認できた。

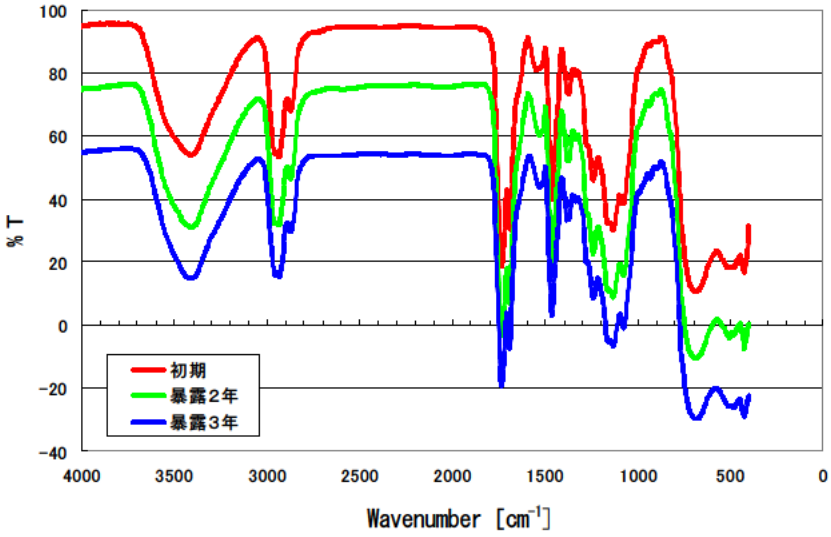


写真－6.6　SEM による塗膜表面状態の観察

2）FT-IR 観察

図－6.12 に FT-IR で表面樹脂の劣化状態を観察した結果を示す。

また、表－6.18 に樹脂劣化過程において変化が顕在化すると思われる特定吸収部位での吸光度比の解析結果を示したが、暴露試験３年でもほとんど変化は生じていなかった。



図－6.12　FT-IR チャート

表－6.18　特定吸収部位での吸光度比の解析結果

吸光度比	A/B
初期	0.08
２年後	0.10
３年後	0.08

A：1540cm^{-1}　ウレタン結合の C-N 伸縮振動、N-H 変角振動

B：1730cm^{-1}　C=O 伸縮振動（エステル結合）

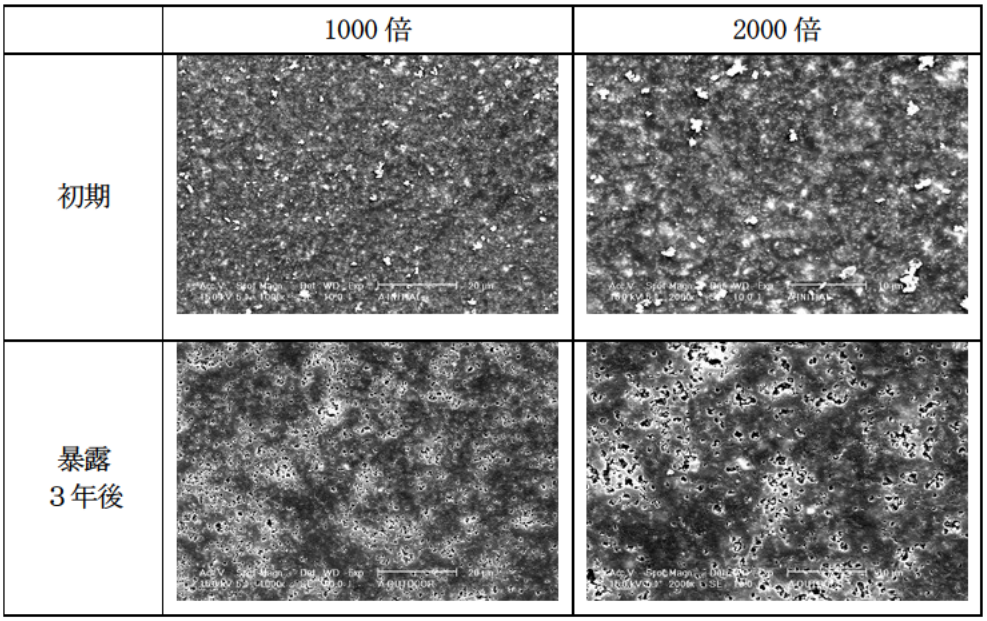
5）D-3（厚膜形ふっ素樹脂塗料上塗）

上塗り（厚膜形ふっ素樹脂塗料上塗）塗膜の屋外暴露試験開始前と沖縄暴露試験３年後の表面状態を観察することで、塗膜の劣化状態の把握を行った。

①走査型電子顕微鏡観察

写真－6.7 に SEM で塗膜表面を観察した結果を示す。

暴露３年で塗膜表面の樹脂層がやや劣化・消失し始めていることが確認できた。

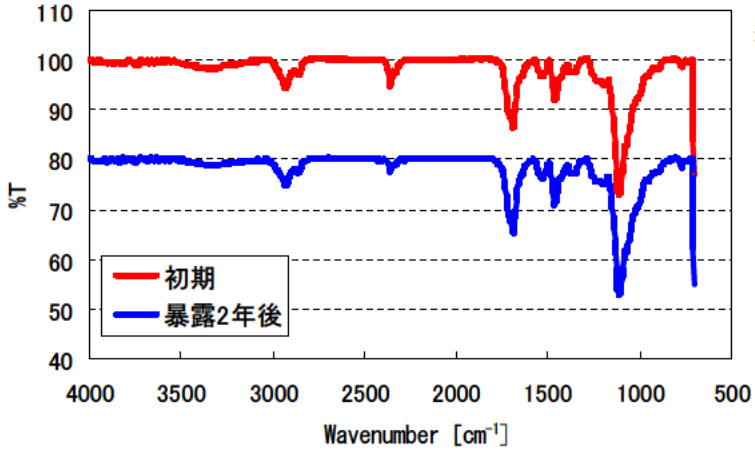


写真－6.7　SEM による塗膜表面状態の観察

2）FT-IR 観察

図－6.13 に FT-IR で表面樹脂の劣化状態を観察した結果を示す。

また、表－6.19 に樹脂劣化過程において変化が顕在化すると思われる特定吸収部位での吸光度比の解析結果を示したが、暴露試験３年でもほとんど変化は生じていなかった。



図－6.13　FT-IR チャート

表－6.19　特定吸収部位での吸光度比の解析結果

吸光度比	A/B
初期	0.100
３年後	0.117

A：1540cm^{-1}　ウレタン結合の C-N 伸縮振動、N-H 変角振動

B：1730cm^{-1}　C=O 伸縮振動（エステル結合）

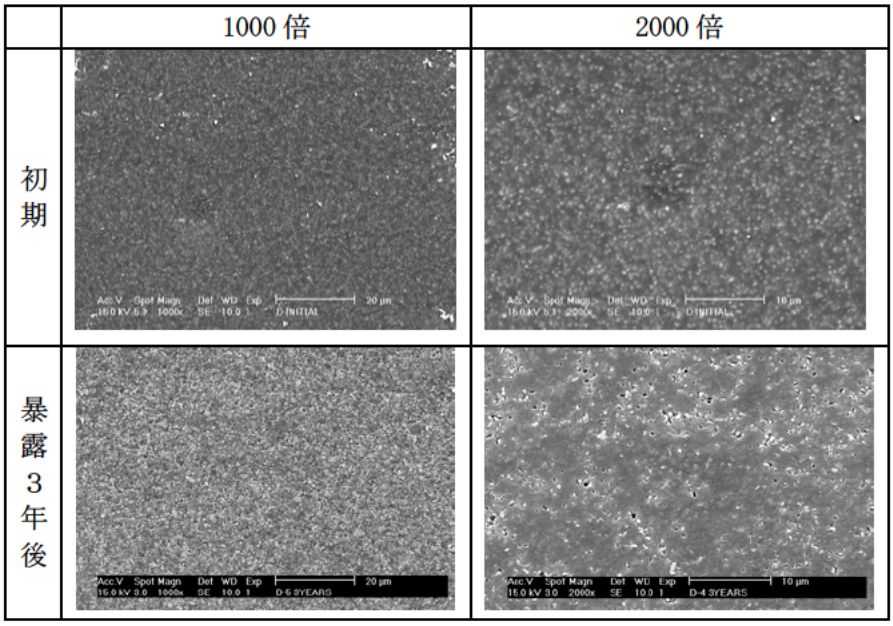
6）D-4（高耐候性ふっ素樹脂塗料上塗）

上塗り（高耐候性ふっ素樹脂塗料上塗）塗膜の屋外暴露試験開始前と沖縄暴露試験３年後の表面状態を観察することで、塗膜の劣化状態の把握を行った。

①走査型電子顕微鏡観察

写真－6.8 に SEM で塗膜表面を観察した結果を示す。

暴露３年で塗膜表面の樹脂層がやや劣化・消失し始めていることが確認できた。

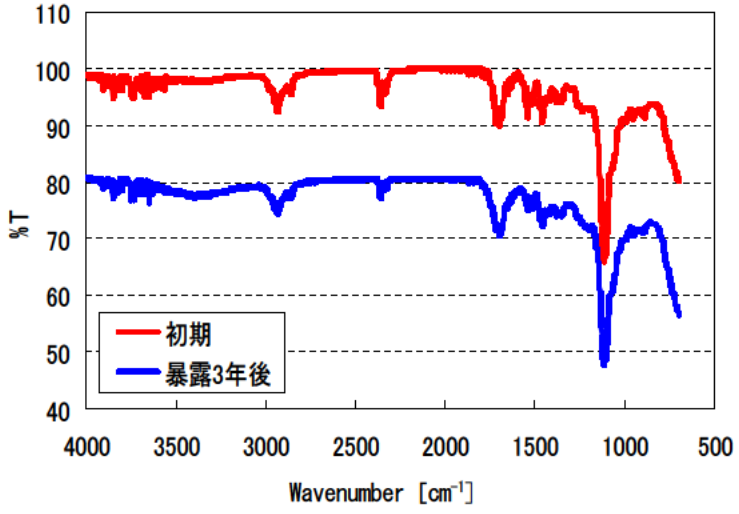


写真－6.8　SEM による塗膜表面状態の観察

②FT-IR 観察

図－6.14 に FT-IR で表面樹脂の劣化状態を観察した結果を示す。

また、表－6.20 に樹脂劣化過程において変化が顕在化すると思われる特定吸収部位での吸光度比の解析結果を示したが、暴露試験３年でもほとんど変化は生じていなかった。



表－6.20 定吸収部位での吸光度比の解析結果

吸光度比	A/B
初期	0.237
３年後	0.272

A：1540cm^{-1}　ウレタン結合の C-N 伸縮振動、N-H 変角振動

B：1730cm^{-1}　C=O 伸縮振動（エステル結合）

図－6.14　FT-IR チャート

（5）インピーダンス

1）便覧 C-2 対応塗装系

インピーダンスの測定結果を表－6.21 に示す。

沖縄暴露３年では特に大きな変化は見られなかった。

表－6.21　便覧 C-2 対応　インピーダンス測定結果

提案塗装系 No.	試験板No.		初期値			沖縄暴露３年		
		周波数	抵抗値	静電容量		抵抗値	静電容量	
		(kHz)	(kΩ)	(nF)	tanδ	(kΩ)	(nF)	tanδ
便覧C-2 (基準)	D-C-2	0.2	8333	0.57	0.17	4545	1.06	0.17
		0.5	4545	0.53	0.13	2273	0.98	0.14
		1.0	2857	0.50	0.11	1389	0.93	0.12
		5.0	909	0.49	0.07	435	0.86	0.09
DNT-1 (C-2)	D-2	0.2	20000	0.63	0.06	5263	0.61	0.25
		0.5	10000	0.60	0.05	3030	0.54	0.19
		1.0	5556	0.59	0.05	2000	0.51	0.16
		5.0	1667	0.59	0.03	714	0.48	0.09
DNT-2 (C-2)	D-5	0.2	5000	1.06	0.15	2326	1.10	0.31
		0.5	2632	0.98	0.12	1389	1.00	0.23
		1.0	1563	0.94	0.11	909	0.90	0.19
		5.0	435	0.88	0.08	313	1.00	0.10

2）便覧 C-4 対応塗装系

インピーダンスの測定結果を表－6.22 に示す。

沖縄暴露３年では特に大きな変化は見られなかった。

表－6.22　便覧 C-4 対応　インピーダンス測定結果

提案塗装系 No.	試験板No.		初期値			沖縄暴露３年		
		周波数	抵抗値	静電容量		抵抗値	静電容量	
		(kHz)	(kΩ)	(nF)	tanδ	(kΩ)	(nF)	tanδ
便覧C-4 (基準)	K-C-4	0.2	14286	0.56	0.10	12500	0.43	0.15
		0.5	6667	0.53	0.09	7692	0.41	0.10
		1.0	4000	0.51	0.08	4762	0.39	0.09
		5.0	833	0.51	0.07	1613	0.39	0.05
DNT-1 (C-4)	D-3	0.2	20000	0.62	0.06	7692	0.71	0.15
		0.5	10000	0.60	0.05	4000	0.66	0.12
		1.0	5882	0.59	0.05	2381	0.63	0.11
		5.0	1667	0.59	0.03	699	0.61	0.07
DNT-2 (C-4)	D-4	0.2	16667	0.63	0.08	7692	0.64	0.16
		0.5	8333	0.61	0.06	4000	0.59	0.13
		1.0	5000	0.59	0.05	2500	0.56	0.11
		5.0	1429	0.59	0.04	855	0.54	0.07

（6）直流抵抗値

1）便覧 C-2 対応塗装系

直流抵抗値の測定結果を表－6.23 に示す。

沖縄暴露２年では特に大きな変化は見られなかった。

表－6.23　便覧 C-2 対応　直流抵抗値測定結果

提案塗装系No.	試験板No	直流抵抗値（Ω・cm）		
		初期	２年後	３年後
便覧C-2（基準）	D-C-2	（今回データなし）		
DNT-1（C-2）	D-2	7.23E+11	6.51E+10	－
DNT-2（C-2）	D-5	3.91E+07	5.20E+07	－

2）便覧 C-4 対応塗装系

直流抵抗値の測定結果を表－6.24 に示す。

沖縄暴露２年では特に大きな変化は見られなかった。

表－6.24　便覧 C-4 対応　直流抵抗値測定結果

提案塗装系　No.	試験板No	直流抵抗値（Ω・cm）		
		初期	２年後	３年後
便覧C-4（基準）	K-C-4	1.45E+10	1.44E+10	4.46E+10
DNT-1（C-4）	D-3	1.37E+11	2.02E+10	－
DNT-2（C-4）	D-4	4.00E+12	5.63E+12	－

6．2．2　複合サイクル試験（CCT）

（1）便覧 C-2 対応塗装系

塗膜外観観察結果を表－6.25～表－6.26 に、土研式 250 サイクル後／ＪＩＳ式 CCT 1000 サイクル後に実施した付着性評価および記録写真(表面)を写真－6.9 に示す。
提案塗装系は基準 C-2 と比較し、大きな差は特に認められなかった。

表－6.25　塗膜外観（土研式 CCT）

提案塗装系 No.	試験板No.	10サイクル		30サイクル		50サイクル		100サイクル	
		一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部
便覧C-2（基準）	D-C-2	○	0mm	○	1mm	○	2mm	○	2mm
DNT-1（C-2）	D-2	○	0mm	○	0mm	○	3mm	○	3mm
DNT-2（C-2）	D-5	○	0mm	○	1mm	○	1mm	○	2mm

提案塗装系 No.	試験板No.	150サイクル		200サイクル		250サイクル	
		一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部
便覧C-2（基準）	D-C-2	○	2mm	○	3mm	○	4mm
DNT-1（C-2）	D-2	○	3mm	○	3mm	○	6mm
DNT-2（C-2）	D-5	○	2mm	○	3mm	○	5mm

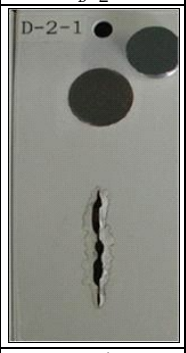
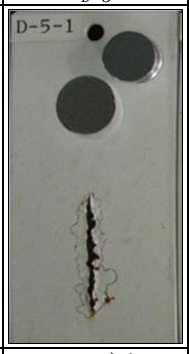
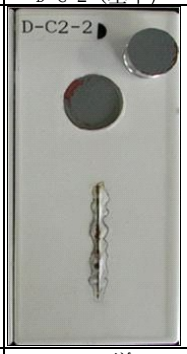
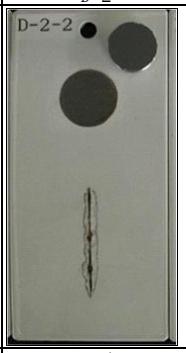
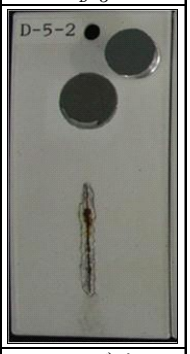
○：異状なし

表－6.26　塗膜外観（ＪＩＳ式 CCT）

提案塗装系 No.	試験板No.	200サイクル		400サイクル		600サイクル		800サイクル		1000サイクル	
		一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部
便覧C-2(基準)	D-C-2	○	1mm	○	2mm	○	3mm	○	5mm	○	5mm
DNT-1(C-2)	D-2	○	0mm	○	2mm	○	3mm	○	3mm	○	3mm
DNT-2(C-2)	D-5	○	0mm	○	2mm	○	3mm	○	4mm	○	4mm

○：異状なし

1) 土研式　　**2) JIS式**

試験板No	D-C-2（基準）	D-2	D-5	D-C-2（基準）	D-2	D-5
C-2系						
付着性 (MPa)	2.1	1.5	1.5	2.0	1.5	1.5
	下塗　10% ｼﾞﾝｸ　90%	ｼﾞﾝｸ～ 素地100%	ｼﾞﾝｸ～ 素地100%	下塗　5% ｼﾞﾝｸ　95%	ｼﾞﾝｸ～ 素地100%	ｼﾞﾝｸ～ 素地100%

写真－6.9　付着性および記録写真（土研式 CCT およびＪＩＳ式 CCT）

（2）便覧 C-4 対応塗装系

塗膜外観観察結果を表－6.27～表－6.28 に、土研式 250 サイクル後／ＪＩＳ式 CCT 1000 サイクル後に実施した付着性評価および記録写真(表面)を写真－6.10 に示す。

提案塗装系は基準 C-4 と比較し、大きな差は特に認められなかった。

表－6.27　塗膜外観（土研式 CCT）

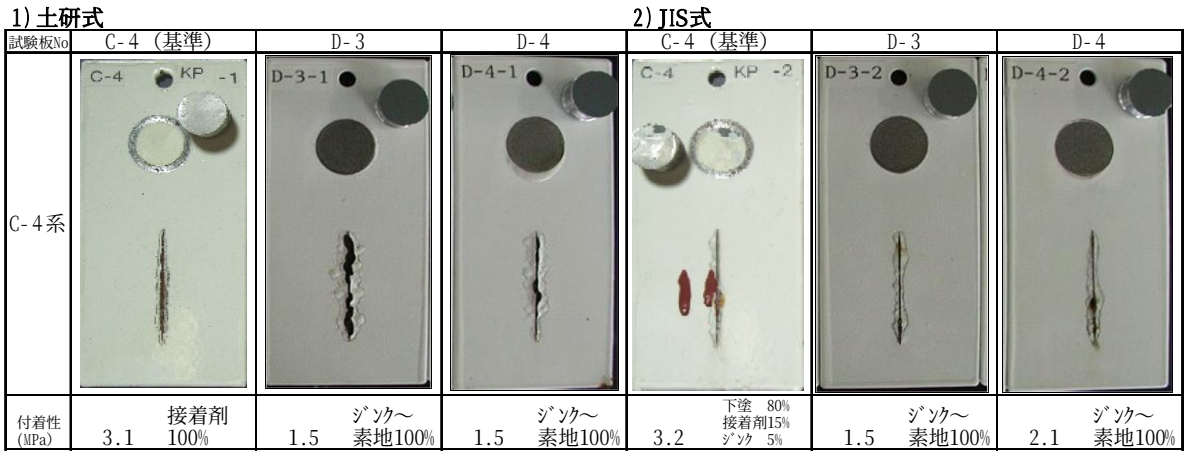
提案塗装系 No.	試験板No.	10サイクル		30サイクル		50サイクル		100サイクル	
		一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部
便覧C-4 (基準)	K-C-4	○	0mm	○	0mm	○	0mm	○	0mm
DNT-1 (C-4)	D-3	○	0mm	○	1mm	○	4mm	○	4mm
DNT-2 (C-4)	D-4	○	0mm	○	1mm	○	3mm	○	4mm

提案塗装系 No.	試験板No.	150サイクル		200サイクル		250サイクル	
		一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部
便覧C-4 (基準)	K-C-4	○	1mm	○	2mm	○	3mm
DNT-1 (C-4)	D-3	○	3mm	○	4mm	○	8mm
DNT-2 (C-4)	D-4	○	3mm	○	4mm	○	8mm

○：異状なし

表－6.28　塗膜外観（ＪＩＳ式 CCT）

提案塗装系 No.	試験板No.	200サイクル		400サイクル		600サイクル		800サイクル		1000サイクル	
		一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部
便覧C-4 (基準)	K-C-4	○	0mm	○	2mm	○	3mm	○	3mm	○	3mm
DNT-1 (C-4)	D-3	○	0mm	○	2mm	○	2mm	○	4mm	○	5mm
DNT-2 (C-4)	D-4	○	0mm	○	2mm	○	2mm	○	5mm	○	5mm



写真－6.10　付着性および記録写真（土研式 CCT およびＪＩＳ式 CCT）

６．２．３　促進耐候性試験（キセノンランプ法）

（１）便覧 C-2 対応塗装系

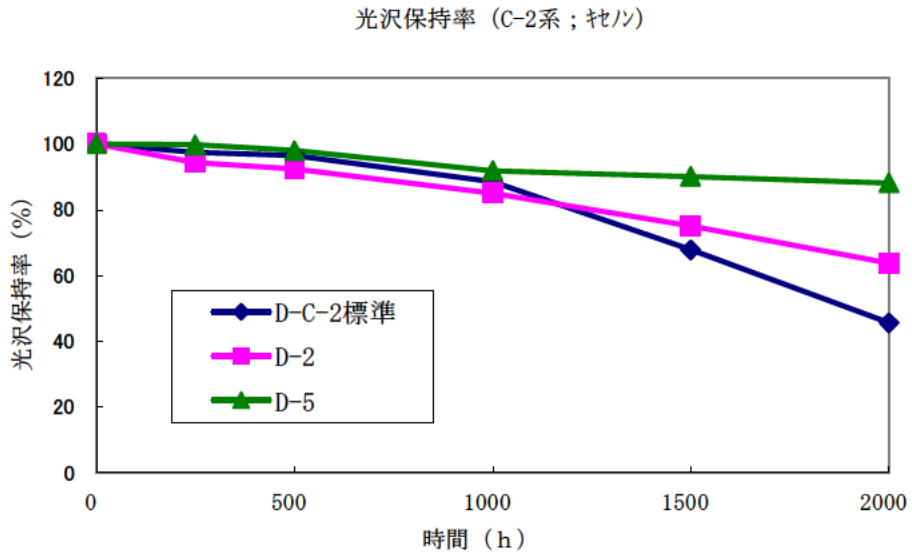
光沢度(60 度鏡面光沢度)の評価結果を表－6.29 と図－6.15 に示す。

標準となる便覧 C-2 塗装系と比較して、両提案塗装系とも優れた促進耐候性を示した。

特に D-5(弱溶剤形ポリウレタン樹脂塗料上塗)は標準 C-2 塗装系より優れた値を示した。

表－6.29　便覧 C-2 対応　光沢度、光沢保持率

提案塗装系No.	試験板No.	測定点	初期値	照射時間（hrs）				
				250	500	1000	1500	2000
便覧C-2（基準）	D-C-2	1	89.1	86.1	85.7	80.4	62.5	41.4
		2	87.8	86.2	85.1	76.2	57.5	39.2
		平均	88.5	86.2	85.4	78.3	60.0	40.3
DNT-1（C-2）	D-2	1	57.3	53.5	52.6	48.2	41.9	35.1
		2	59.1	56.4	54.9	50.8	45.5	39.1
		平均	58.2	55.0	53.8	49.5	43.7	37.1
DNT-2（C-2）	D-5	1	82.5	82.0	80.6	74.9	73.7	71.7
		2	81.7	81.8	80.3	75.9	74.2	73.0
		平均	82.1	81.9	80.5	75.4	74.0	72.4



図－6.15　便覧 C-2 対応　光沢保持率

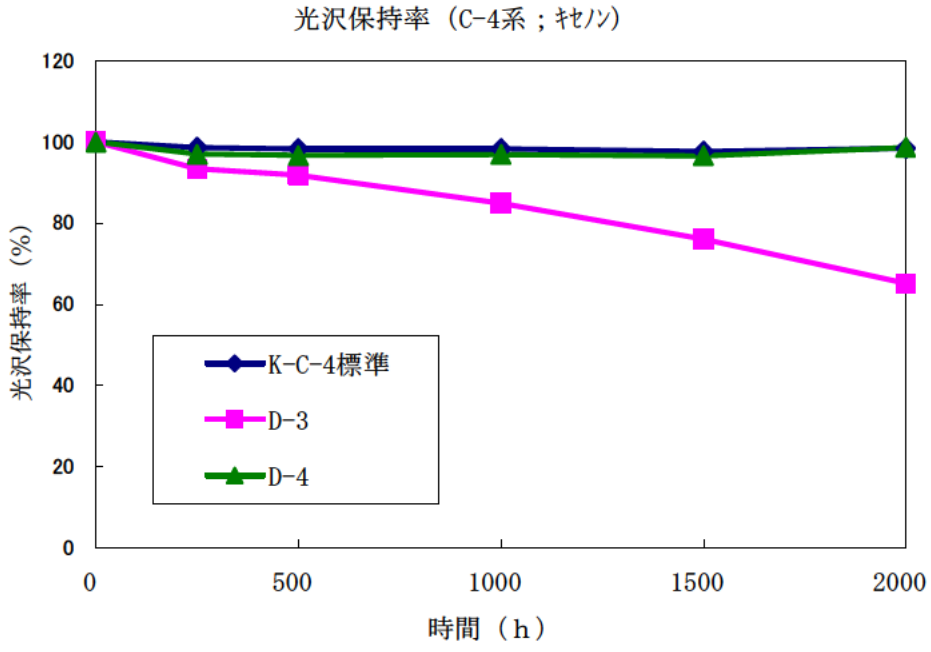
（2）便覧 C-4 対応塗装系

光沢度(60 度鏡面光沢度)の評価結果を表-6.30 と図-6.16 に示す。

提案塗装系 D-3（厚膜形ふっ素樹脂塗料上塗）はやや光沢低下が見られたが、D-4（高耐候ふっ素樹脂塗料上塗）は、標準となる便覧 C-4 塗装系と比較して、同等の促進耐候性を示した。

表－6.30　便覧 C-4 対応　光沢度、光沢保持率

提案塗装系No	試験板No	測定点	初期値	照射時間（hrs）				
				250	500	1000	1500	2000
便覧C-4（基準）	K-C-4	1	81.0	80.3	79.9	79.9	79.5	80.2
		2	80.7	79.2	79.1	79.1	78.4	78.9
		平均	80.9	79.8	79.5	79.5	79.0	79.6
DNT-1（C-4）	D-3	1	51.0	47.6	47.0	43.3	39.3	34.4
		2	54.5	50.9	49.8	46.3	40.9	34.3
		平均	52.8	49.3	48.4	44.8	40.1	34.4
DNT-2（C-4）	D-4	1	81.3	78.3	78.5	78.8	78.4	80.2
		2	81.3	79.4	78.6	78.7	78.6	80.1
		平均	81.3	78.9	78.6	78.8	78.5	80.2



図－6.16　便覧 C-4 対応　光沢保持率

6．2．4　塗膜性能試験

（1）便覧 C-2 対応塗装系

塗膜特性の評価結果を表－6.31 に示す。

基準となる便覧 C-2 塗装系の塗膜性能の測定を今回行っていないため相対比較はできないが、今回測定した便覧 C-4 塗装系と比較すると、提案塗装系 D-5 は応力緩和（弱溶剤に起因）を除き、同等レベルの塗膜特性を示していた。

提案塗装系 D-2 は環境遮断機能（酸素透過性、透湿度）がやや低い反面、応力緩和は D-5 同様に高い傾向を示した。

表－6.31　便覧 C-2 対応　塗膜性能

提案塗装系No.	試験板No.	酸素透過性	水蒸気透過性		塗膜物性		
		酸素透過係数 ($\times10^{-11}$)	透過度 (g/m²・24h)	透湿係数 (g・cm/m²・24h・mmHg)	応力緩和	破断ひずみ	破断応力 (最大点-応力)
					応力の半減期	最大伸び率 (%)	(kgf/cm²)
便覧C-2（基準）	D-C-2	今回データなし					
DNT-1（C-2）	D-2	6.84	13	3.7×10^{-3}	19分	6.0	266
DNT-2（C-2）	D-5	1.29	8.5	2.4×10^{-3}	19分	3.7	290

〔注〕 1）塗膜物性試験に供する塗膜は、ジンクリッチ塗膜を除いたシステムで評価。

2）酸素透過係数の単位：cm3（STP)cm/cm²sec・cmHg

（2）便覧 C-4 対応塗装系

塗膜性能の評価結果を表－6.32 に示す。

基準となる便覧 C-4 塗装系と比較して、提案塗装系２仕様はほぼ同程度の塗膜性能を示していた。

表－6.32　便覧 C-4 対応　塗膜性能

提案塗装系No.	試験板No.	酸素透過性	水蒸気透過性		塗膜物性		
		酸素透過係数 ($\times10^{-11}$)	透過度 (g/m²・24h)	透湿係数 (g・cm/m²・24h・mmHg)	応力緩和	破断ひずみ	破断応力 (最大点-応力)
					応力の半減期	最大伸び率 (%)	(kgf/cm²)
便覧C-4（基準）	K-C-4	0.8	2.6	1.0×10^{-3}	70時間以上	3.4	236
DNT-1（C-4）	D-3	1.1	6.0	1.2×10^{-3}	70時間以上	2.4	258
DNT-2（C-4）	D-4	1.9	3.8	1.1×10^{-3}	20時間以上	3.7	283

〔注〕 1）塗膜物性試験に供する塗膜は、ジンクリッチ塗膜を除いたシステムで評価。

2）酸素透過係数の単位：cm³（STP)cm/cm²sec・cmHg

６．３　まとめ

６．３．１　便覧 C-2 塗装系対応

表－6.33 に試験項目別に、基準となる C-2 塗装系と提案塗装系２仕様との比較を示す。

整理すると下記のことがいえる。

（1）提案塗装系２仕様は便覧 C-2 仕様と比較して、防食性はカット部での劣化がやや大きい傾向にある。耐候性については暴露試験と促進試験で挙動が大きく異なり、暴露試験では便覧 C-2 仕様より劣り、逆に促進試験では優れる結果であった。防食性については、ジンクリッチが有機と無機との差が影響していると考えられる。

（2）提案塗装系 D-5 において、無機ジンクリッチと厚膜形弱溶剤エポキシ（既に開発済み）を使用することにより、便覧 C-2 と同等のシステムが可能である。

（3）屋外暴露試験３年では防食性と塗膜性能の明確な関係は得られていない。暴露試験を継続し、この関係を明確にしていきたい。

表－6.33　便覧 C-2 対応塗装系　試験結果対比一覧表

項目				基準	DNT提案塗装系No	
				C-2系	D-2	D-5
塗装系内訳	塗装回数			6	3	5
	塗装系	厚膜ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ		無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	高摩擦ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	高摩擦ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ
		下塗		ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	厚膜ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	弱溶剤ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料
		中塗		ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	－	弱溶剤ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料
		上塗		ﾎﾟﾘｳﾚﾀﾝ樹脂塗料	厚膜ﾎﾟﾘｳﾚﾀﾝ樹脂塗料	弱溶剤ﾎﾟﾘｳﾚﾀﾝ樹脂塗料
	塗膜厚（μm）			250	270	250
	溶剤種別（下塗、中塗、上塗）			強溶剤	強溶剤	弱溶剤
	コスト指数（削減率%）			100	69(31)	85(15)
1	屋外暴露試験（沖縄３年間）	塗膜外観	一般部	○	○	○
			カット部	○	△	△
		光沢保持率		○	×	△
		色差（△E*ab）		○	○	○
		付着性		○	○	○
		塗膜表面観察（機器）		○	○	○
		インピーダンス		○	○	○
		直流抵抗値		(○)	△	○
2	複合サイクル試験（土研式　サイクル）（JIS式　1000サイクル）	塗膜外観	一般部	○	○	○
			カット部	○	○	○
		付着性		○	○	○
3	促進耐候性（キセノン2000hrs）	光沢保持率		○	◎	◎
4	塗膜特性試験(厚膜ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄなし)	酸素透過性		(○)	△	○
		透湿度（水蒸気透過度）		(○)	△	○
		塗膜物性	伸び	(○)	○	○
			強度	(○)	○	○
			応力緩和能	(○)	◎	◎

（注）１）評価は基準となる便覧Ｃ－２塗装系と提案塗装系との対比で表示。
（評価基準）　◎：優れる　○：同等　△：やや劣る　×：劣る
２）塗膜特性試験および直流抵抗値については便覧Ｃ－４塗装系のデータと比較。

６．３．２　便覧 C-4 塗装系対応

表－6.34 に試験項目別に、基準となる C-4 塗装系と提案塗装系２仕様との比較を示す。整理すると下記のことがいえる。

（1）提案２仕様は便覧 C-4 仕様と比較して、防食性はカット部での劣化がやや大きい傾向にある。これは、ジンクリッチが有機と無機との差が影響していると考えられる。従って、ジンクリッチに無機を用いれば、提案塗装系２仕様は便覧 C-4 と同等のシステムとして使用可能である。

（2）耐候性は厚膜ふっ素がやや劣る傾向にあり、今後さらなる検討が必要と考えられる。

（3）屋外暴露試験３年では防食性と塗膜性能の明確な関係は得られていない。暴露試験を継続し、この関係を明確にしていきたい。

表－6.34　便覧 C-4 対応塗装系　試験結果対比一覧表

項目				基準	DNT提案塗装系No	
				C-4系	D-3	D-4
塗装系内訳	塗装回数			6	3	4
	塗装系	厚膜ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ		無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	高摩擦ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	高摩擦ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ
		下塗		ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	厚膜ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	厚膜ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料
		中塗		ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	－	－
		上塗		ふっ素樹脂塗料	厚膜ふっ素樹脂塗料	高耐候ふっ素樹脂塗料×２
	塗膜厚（μm）			250	245	245
	溶剤種別（下塗、中塗、上塗）			強溶剤	強溶剤	強溶剤
	コスト指数（削減率%）			100	74(26)	86(14)
1	屋外暴露試験（沖縄　３年間）	塗膜外観	一般部	○	○	○
			カット部	○	△	△
		光沢保持率		○	○	◎
		色差		○	○	○
		付着性		○	○	○
		塗膜表面観察（機器）		○	○	○
		インピーダンス		○	○	○
		直流抵抗値		○	○	◎
2	複合サイクル試験	塗膜外観	一般部	○	○	○
	（土研式　サイクル）		カット部	○	△	△
	（JIS式　1000サイクル）	付着性		○	○	○
3	促進耐候性（キセノン2000hrs）	光沢保持率		○	△	○
4	塗膜特性試験(厚膜ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄなし)	酸素透過性		○	○	○
		透湿度（水蒸気透過度）		○	○	○
		塗膜物性	伸び	○	○	○
			強度	○	○	○
			応力緩和能	○	○	○

（注）１）評価は基準となる便覧Ｃ－２塗装系と提案仕様との対比で表示。
（評価基準）　◎：優れる　○：同等　△：やや劣る　×：劣る
２）塗膜特性試験および直流抵抗値については便覧Ｃ－４塗装系のデータと比較。

7．中国塗料株式会社　提案塗装系と試験結果

7．1　提案塗装系

表－7.1 および表－7.2 に、便覧 C-4 塗装系対応, 便覧 D-4 塗装系対応　それぞれの中国塗料(株)提案塗装系を示す。

表－7.1　便覧 C-4 塗装系対応　（無機ジンク＋エポキシ＋ふっ素中塗・上塗）

提案塗装系No.	試験板No.	コンセプト	コスト指数	塗装系						
				第１層目	第２層目	第３層目	第４層目	第５層目	第６層目	合計膜厚（μm）
便覧C-4（基準）	K-C-4	－	100	無機ジンクリッチペイント（75μm）	ミストコート（－）	エポキシ樹脂塗料下塗（60μm）	エポキシ樹脂塗料下塗（60μm）	ふっ素樹脂塗料用中塗（30μm）	ふっ素樹脂塗料上塗（25μm）	250μm
CMP-1（C-4）	C-1	厚膜形変性エポキシ樹脂塗料下塗と、厚膜形ふっ素樹脂塗料上塗の組合せによる省工程仕様	92（8%減）	無機ジンクリッチペイント（75μm）	ミストコート（－）	変性エポキシ樹脂塗料下塗（125μm）	厚膜形ふっ素樹脂塗料上塗（50μm）	－	－	250μm
CMP-2（C-4）	C-2	塗装系C-1の膜厚低減仕様：合計膜厚15%減	87（13%減）	無機ジンクリッチペイント（75μm）	ミストコート（－）	変性エポキシ樹脂塗料下塗（88μm）	厚膜形ふっ素樹脂塗料上塗（50μm）	－	－	213μm
CMP-3（C-4）	C-3	塗装系C-1の膜厚低減仕様：合計膜厚25%減	84（16%減）	無機ジンクリッチペイント（75μm）	ミストコート（－）	変性エポキシ樹脂塗料下塗（63μm）	厚膜形ふっ素樹脂塗料上塗（50μm）	－	－	188μm
CMP-4（C-4）	C-4	塗装系C-1の膜厚低減仕様：合計膜厚35%減	81（19%減）	無機ジンクリッチペイント（75μm）	ミストコート（－）	変性エポキシ樹脂塗料下塗（38μm）	厚膜形ふっ素樹脂塗料上塗（50μm）	－	－	163μm
CMP-5（C-4）	C-5	厚膜形変性エポキシ樹脂塗料下塗と、無機質系塗料上塗の組合せによる省工程仕様	88（12%減）	無機ジンクリッチペイント（75μm）	ミストコート（－）	変性エポキシ樹脂塗料下塗（125μm）	無機質系塗料上塗（30μm）	－	－	230μm
CMP-6（C-4）	C-6	ミストコートを省略することによる省工程仕様	92（8%減）	無機ジンクリッチペイント（75μm）	ミストコート・下塗兼用塗料（100μm）	厚膜形ふっ素樹脂塗料上塗（50μm）	－	－	－	225μm

（注）コスト指数について（算出基準は共通編のコスト計算基準を参照のこと）

提案塗装系No.	試験板No.	コスト（円/㎡：材工（塗料＋シンナー＋塗装費）込み）							
		第１層目	第２層目	第３層目	第４層目	第５層目	第６層目	合計金額	コスト指数
便覧C-4（基準）	K-C-4	1063	568	685	685	605	983	4590	100
CMP-1（C-4）	C-1	1063	568	1065	1513	－	－	4209	92
CMP-2（C-4）	C-2	1063	568	859	1513	－	－	4003	87
CMP-3（C-4）	C-3	1063	568	725	1513	－	－	3870	84
CMP-4（C-4）	C-4	1063	568	592	1513	－	－	3736	81
CMP-5（C-4）	C-5	1063	568	1065	1340	－	－	4037	88
CMP-6（C-4）	C-6	1063	1639	1513	－	－	－	4215	92

※ミストコートについて
・ミストコート用の塗料は次工程に使用する塗料を160g/㎡使用
・ミストコート用のシンナーはミストコートに用いる塗料用のシンナーを50%希釈して使用
※計算例［CMP-提案1（C4)の第1層目］
塗料代＋シンナー代＋塗装費
0.7kg/㎡×950円/kg＋0.7kg/㎡×5%×350円/kg＋386円/㎡＝1063円/㎡

表－7.2　便覧 D-4 塗装系対応　（変性エポキシ樹脂塗料内面用×２）

提案塗装系 No.	試験板 No.	コンセプト	コスト指数	塗装系		
				第１層目	第２層目	合計膜厚（μm）
便覧D-4（基準）	便覧 D-4	－	100	変性エポキシ樹脂塗料内面用（120μm）	変性エポキシ樹脂塗料内面用（120μm）	240μm
CMP-1（D4）	C-8	厚膜形変性エポキシ樹脂塗料による省工程仕様	66（34%減）	変性エポキシ樹脂塗料（200μm）	－	200μm

※ショッププライマー方式として、プライマーに無機ジンクリッチプライマーを塗装

（注）コスト指数について（算出基準は共通編のコスト計算基準を参照のこと）

提案塗装系 No.	試験板 No.	コスト（円/㎡：材工（塗料＋シンナー＋塗装費）込み）			
		第１層目	第２層目	合計金額	コスト指数
便覧D-4（基準）	便覧 D-4	1740	1684	4590	100
CMP-1（D4）	C-8	2259	—	2259	66

７．２　試験結果

７．２．１　屋外暴露試験

（１）塗膜外観および付着性

１）便覧 C-4 対応塗装系

屋外暴露試験３年間の塗膜外観観察および付着性評価結果を表－7.3，表－7.4 に、記録写真(３年目表面)を写真－7.1 に示す。

第１層目に便覧 C-4 塗装系と同様､厚膜形無機ジンクリッチペイントを用いた CMP-1(C-4)，CMP-2（C-4)，CMP-5（C-4)，CMP-6（C-4）は、基準となる便覧 C-4 塗装系とほぼ同等の防食性能であった。

しかし、第３層目の変性エポキシ樹脂塗料下塗の膜厚を低減し合計膜厚を薄くした CMP-3（C-4)，CMP-4（C-4）は、基準となる便覧 C-4 塗装系と比較して、一般部での塗膜外観は同等であるが、カット部での防食性がやや劣る傾向が見られた。

表－7.3　便覧 C-4 対応　塗膜外観・付着性（沖縄）

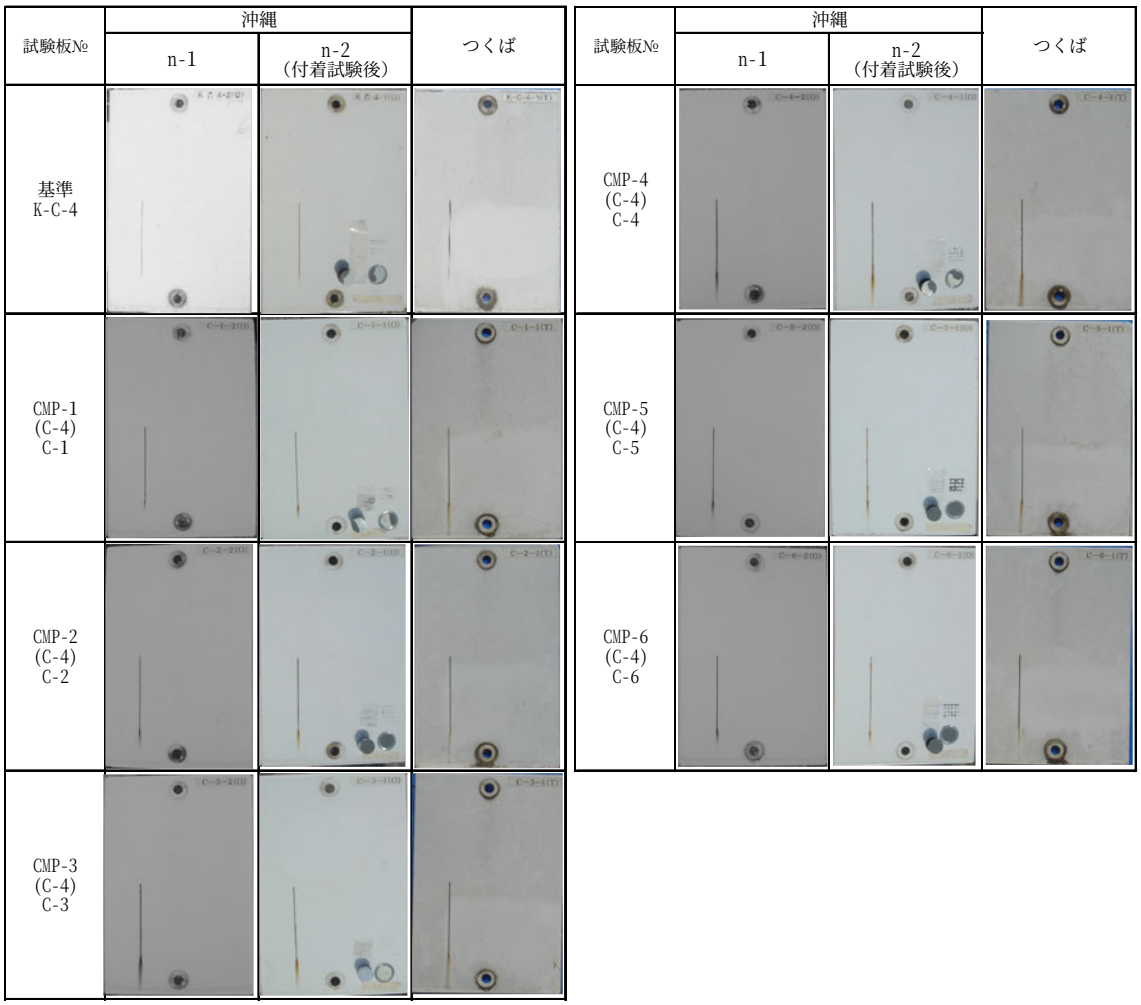
提案塗装系No.	試験板No.	繰返し数	塗板の表裏	塗膜外観観察						付着性試験			
				1年後		2年後		3年後		引張り付着強度		テープ付着（碁盤目）	
				一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	MPa	はく離箇所	残升目	はく離箇所
便覧C-4（基準）	K-C-4	1	表	○	0mm	○	0mm	○	0mm	5.0	接着剤100%	9/9	－
			裏	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
		2	表	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
			裏	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
CMP-1 (C-4)	C-1	1	表	○	0mm	○	0mm	○	0mm	1.8	接着剤70% ｼﾞﾝｸ30%	5/9	中塗/上塗
			裏	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
		2	表	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
			裏	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
CMP-2 (C-4)	C-2	1	表	○	0mm	○	1mm	○	1mm	1.5	ｼﾞﾝｸ100%	8/9	中塗/上塗
			裏	○	0mm	○	1mm	○	0mm				
		2	表	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
			裏	○	0mm	○	0mm	○	1mm				
CMP-3 (C-4)	C-3	1	表	○	0mm	○	1mm	○	2mm	2.8	接着剤100%	9/9	－
			裏	○	0mm	○	3mm	○	3mm				
		2	表	○	0mm	○	2mm	○	3mm				
			裏	○	0mm	○	4mm	○	7mm				
CMP-4 (C-4)	C-4	1	表	○	0mm	○	2mm	○	2mm	2.8	接着剤60% ｼﾞﾝｸ40%	8/9	中塗/上塗
			裏	○	0mm	○	5mm	○	8mm				
		2	表	○	0mm	○	2mm	○	3mm				
			裏	○	0mm	○	3mm	○	4mm				
CMP-5 (C-4)	C-5	1	表	○	0mm	○	0mm	○	0mm	1.8	ｼﾞﾝｸ100%	5/9	ｼﾞﾝｸ
			裏	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
		2	表	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
			裏	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
CMP-6 (C-4)	C-6	1	表	○	0mm	○	0mm	○	0mm	2.0	ｼﾞﾝｸ100%	8/9	ｼﾞﾝｸ
			裏	○	0mm	○	0mm	○	2mm				
		2	表	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
			裏	○	0mm	○	0mm	○	0mm				

○：異常なし

表－7.4　便覧 C-4 対応　塗膜外観（つくば）

提案塗装系 No.	試験板No.	繰返し数	塗板の表裏	塗膜外観観察			
				2年後		3年後	
				一般部	カット部	一般部	カット部
便覧C-4（基準）	K-C-4	1	表	○	0mm	○	0mm
			裏	○	0mm	○	0mm
		2	表	○	0mm	○	0mm
			裏	○	0mm	○	0mm
CMP-1 (C4)	C-1	1	表	○	0mm	○	0mm
			裏	○	0mm	○	0mm
		1	表	○	0mm	○	0mm
			裏	○	0mm	○	0mm
CMP-2 (C4)	C-2	1	表	○	0mm	○	0mm
			裏	○	0mm	○	0mm
		2	表	○	0mm	○	0mm
			裏	○	0mm	○	0mm
CMP-3 (C4)	C-3	1	表	○	0mm	○	0mm
			裏	○	1mm	○	0mm
		2	表	○	2mm	○	3mm
			裏	○	1mm	○	2mm
CMP-4 (C4)	C-4	1	表	○	1mm	○	2mm
			裏	○	1mm	○	2mm
		2	表	○	1mm	○	2mm
			裏	○	1mm	○	1mm
CMP-5 (C4)	C-5	1	表	○	0mm	○	0mm
			裏	○	0mm	○	0mm
		2	表	○	0mm	○	1mm
			裏	○	0mm	○	0mm
CMP-6 (C4)	C-6	1	表	○	1mm	○	1mm
			裏	○	0mm	○	0mm
		2	表	○	1mm	○	0mm
			裏	○	0mm	○	0mm

○：異常なし



写真－7.1　便覧 C-4 対応　記録写真（３年目表面）

2）便覧 D-4 対応塗装系

屋外暴露試験３年間の塗膜外観観察および付着性評価結果を表－7.5, 表－7.6 に、記録写真(３年目表面)を写真－7.2 に示す。

CMP-1（D-4）は、基準となる便覧 D-4 とほぼ同等レベルの性能であった。

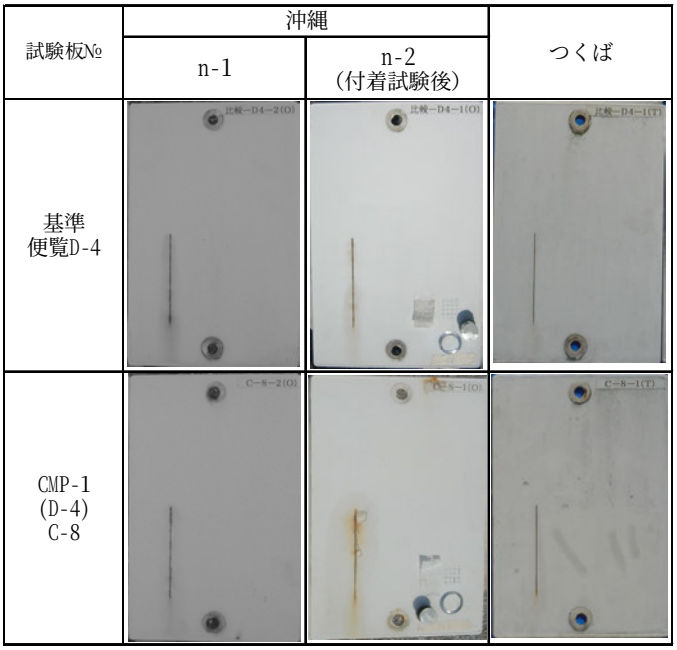
表－7.5　便覧 D-4 対応　塗膜外観・付着性（沖縄）

提案塗装系No.	試験板No.	繰返し数	塗板の表裏	塗膜外観観察						付着性試験			
				1年後		2年後		3年後		引張り付着強度		テープ付着（碁盤目）	
				一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	ＭＰａ	はく離箇所	残升目	はく離箇所
便覧D-4（基準）	便覧D-4	1	表	○	0mm	○	1mm	○	10mm	5.0	接着剤100%	9/9	－
			裏	○	0mm	○	5mm	○	3mm				
		2	表	○	0mm	○	0mm	○	10mm				
			裏	○	0mm	○	1mm	○	15mm				
CMP-1（D4）	C-8	1	表	○	0mm	○	6mm	○	13mm	7.0以上	接着剤100%	9/9	－
			裏	○	0mm	○	2mm	○	3mm				
		2	表	○	0mm	○	2mm	○	2mm				
			裏	○	0mm	○	1mm	○	2mm				

表－7.6　便覧 D-4 対応　塗膜外観（つくば）

提案塗装系No.	試験板No.	繰返し数	塗板の表裏	塗膜外観観察			
				2年後		3年後	
				一般部	カット部	一般部	カット部
便覧D-4（基準）	便覧D-4	1	表	○	0mm	○	0mm
			裏	○	0mm	○	0mm
		2	表	○	0mm	○	1mm
			裏	○	0mm	○	0mm
CMP-1（D4）	C-8	1	表	○	0mm	○	0mm
			裏	○	0mm	○	0mm
		2	表	○	0mm	○	0mm
			裏	○	0mm	○	0mm

○：異常なし



写真－7.2　便覧 D-4 対応　記録写真（３年目表面）

（2）光沢度

1）便覧 C-4 対応塗装系

光沢度(60 度鏡面光沢度)の評価結果を表－7.7，表－7.8 と図－7.1，図－7.2 に示す。

CMP-1（C-4）～4（C-4），および CMP-6（C-4）の上塗塗料は、いずれも厚膜形ふっ素樹脂塗料上塗である。これら厚膜形ふっ素樹脂塗料上塗は、基準となる便覧 C-4 塗装系と比較して、つくばでは同等以上、沖縄では優れた暴露耐候性であった。

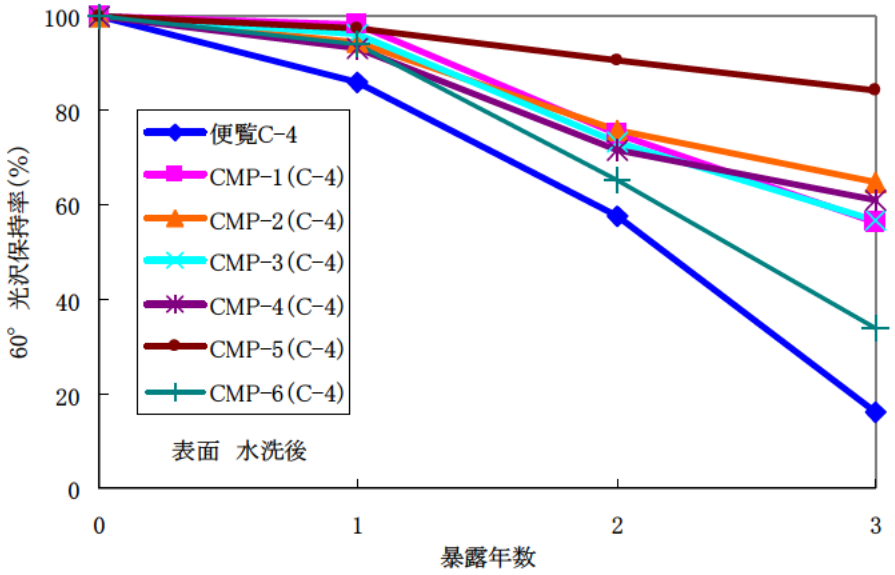
また、仕様 CMP-5（C-4）も、優れた暴露耐候性であった。

表－7.7　便覧 C-4 対応　光沢度（沖縄）

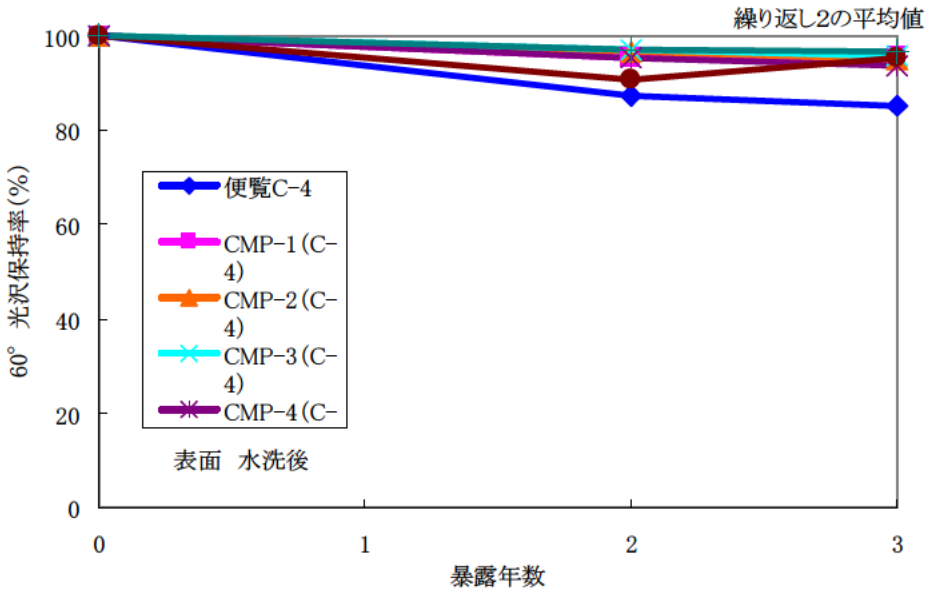
提案塗装系 No.	試験板 No.	表裏	初期値	沖縄暴露 3 年後			
				水洗前		水洗後	
				光沢度	保持率	光沢度	保持率
便覧 C-4（基準）	K-C-4	表	75.3	17.0	21.9	11.5	15.9
			76.4	15.2		11.9	
			71.0	16.6		12.0	
		平均値	74.2	16.3		11.8	
		裏	80.1	72.5	84.2	71.1	90.3
			78.8	65.4		72.8	
			79.3	62.7		71.3	
		平均値	79.4	66.9		71.7	
CMP-1 (C-4)	C-1	表	85.1	41.2	49.2	50.5	56.2
			84.9	40.2		43.6	
			83.0	43.1		48.0	
		平均値	84.3	41.5		47.4	
		裏	85.4	72.3	87.0	72.1	86.8
			85.5	75.9		74.1	
			83.5	73.2		74.6	
		平均値	84.8	73.8		73.6	
CMP-2 (C-4)	C-2	表	82.0	40.8	49.9	52.0	64.7
			82.2	40.9		55.5	
			84.3	42.2		53.4	
		平均値	82.8	41.3		53.6	
		裏	85.2	68.3	82.4	78.5	94.8
			85.2	73.4		81.0	
			85.0	68.7		82.5	
		平均値	85.1	70.1		80.7	
CMP-3 (C-4)	C-3	表	84.5	43.9	51.5	46.7	56.8
			85.3	45.1		47.8	
			85.2	42.2		50.4	
		平均値	85.0	43.7		48.3	
		裏	80.8	67.9	75.3	78.6	92.0
			81.3	56.9		72.6	
			81.6	58.6		73.1	
		平均値	81.2	61.1		74.8	
CMP-4 (C-4)	C-4	表	84.8	41.2	49.4	51.5	61.0
			84.4	41.9		50.7	
			82.9	41.5		51.5	
		平均値	84.0	41.5		51.2	
		裏	85.2	62.5	76.5	81.2	93.2
			85.9	67.3		78.2	
			85.6	66.6		79.8	
		平均値	85.6	65.5		79.7	
CMP-5 (C-4)	C-5	表	81.1	61.3	76.6	69.5	84.3
			81.3	61.9		68.5	
			81.2	63.3		67.3	
		平均値	81.2	62.2		68.4	
		裏	83.2	71.7	82.9	80.4	96.1
			82.6	65.3		75.0	
			80.9	67.4		81.6	
		平均値	82.2	68.1		79.0	
CMP-6 (C-4)	C-6	表	83.7	25.8	31.3	28.1	34.0
			81.9	24.4		26.9	
			75.5	25.3		27.0	
		平均値	80.4	25.2		27.3	
		裏	85.4	70.9	81.7	78.9	94.2
			84.6	66.1		79.2	
			83.7	70.3		80.8	
		平均値	84.6	69.1		79.6	

表−7.8　便覧C-4対応　光沢度（つくば）

提案塗装系No.	試験板No.	表裏	初期値	つくば暴露3年後			
				水洗前		水洗後	
				光沢度	保持率	光沢度	保持率
便覧C-4（基準）	K-C-4	表	78.2	43.0	54.8	64.9	81.2
			75.8	41.2		61.0	
			74.6	41.0		59.7	
		平均値	76.2	41.7		61.9	
		裏	77.6	71.6	91.0	73.5	93.7
			80.0	73.0		76.1	
			79.4	71.1		72.5	
		平均値	79.0	71.9		74.0	
CMP-1 (C-4)	C-1	表	82.0	62.5	74.7	82.6	98.1
			84.7	62.0		81.8	
			84.8	63.4		82.2	
		平均値	83.8	62.6		82.2	
		裏	85.0	79.6	94.3	83.0	96.5
			85.5	80.5		82.5	
			85.0	80.9		81.1	
		平均値	85.2	80.3		82.2	
CMP-2 (C-4)	C-2	表	84.1	63.6	75.7	79.9	94.3
			85.4	63.7		80.5	
			84.7	65.1		79.4	
		平均値	84.7	64.1		79.9	
		裏	71.9	69.6	93.6	72.4	99.5
			73.1	69.1		73.7	
			76.5	68.7		74.2	
		平均値	73.8	69.1		73.4	
CMP-3 (C-4)	C-3	表	85.1	62.4	74.6	80.8	96.0
			82.9	63.5		80.7	
			84.7	62.5		81.2	
		平均値	84.2	62.8		80.9	
		裏	84.8	79.5	93.7	81.3	95.9
			84.9	79.0		81.3	
			84.5	79.8		81.2	
		平均値	84.7	79.4		81.3	
CMP-4 (C-4)	C-4	表	84.8	64.1	75.2	81.8	95.4
			85.0	63.5		80.5	
			85.0	64.0		80.7	
		平均値	84.9	63.9		81.0	
		裏	83.0	79.7	94.4	82.3	96.9
			84.5	80.0		81.7	
			85.6	79.3		81.2	
		平均値	84.4	79.7		81.7	
CMP-5 (C-4)	C-5	表	81.6	56.5	68.9	79.3	97.3
			82.1	56.7		79.6	
			81.6	55.9		79.7	
		平均値	81.8	56.4		79.5	
		裏	59.5	54.4	90.0	57.2	89.5
			65.1	54.7		55.2	
			59.6	56.6		52.5	
		平均値	61.4	55.2		55.0	
CMP-6 (C-4)	C-6	表	77.5	57.6	73.3	73.7	97.9
			79.0	55.4		76.2	
			77.0	58.1		78.8	
		平均値	77.8	57.0		76.2	
		裏	81.2	76.4	93.5	79.7	97.4
			79.7	76.0		77.8	
			82.3	75.1		79.3	
		平均値	81.1	75.8		78.9	



図－7.1　便覧 C-4 対応　光沢保持率（沖縄）



図－7.2　便覧 C-4 対応　光沢保持率（つくば）

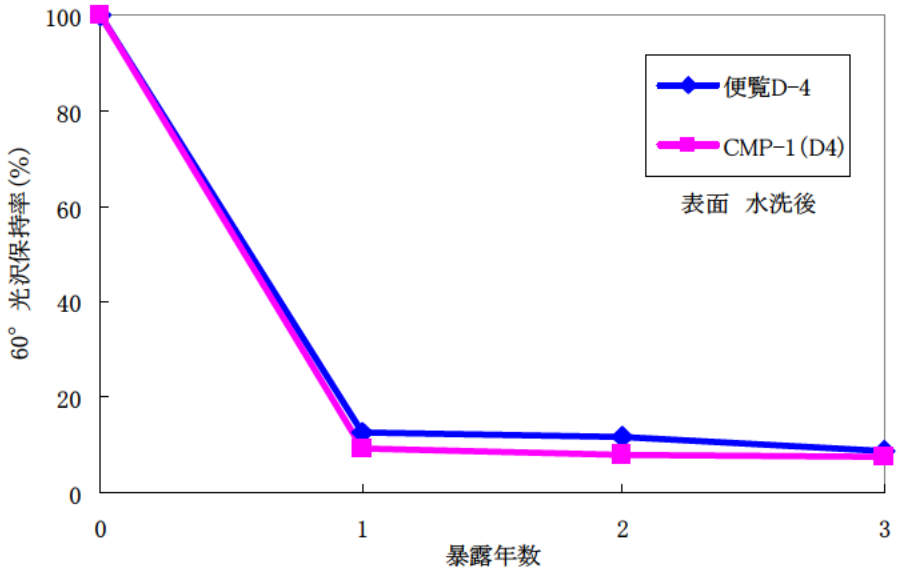
2）便覧 D-4 対応塗装系

光沢度(60 度鏡面光沢度)の評価結果を表－7.9，表－7.10 と図－7.3，図－7.4 に示す。

CMP-1 (D-4) は、基準となる便覧 D-4 塗装系と同等な結果であった。

表－7.9　便覧 D-4 対応　光沢度（沖縄）

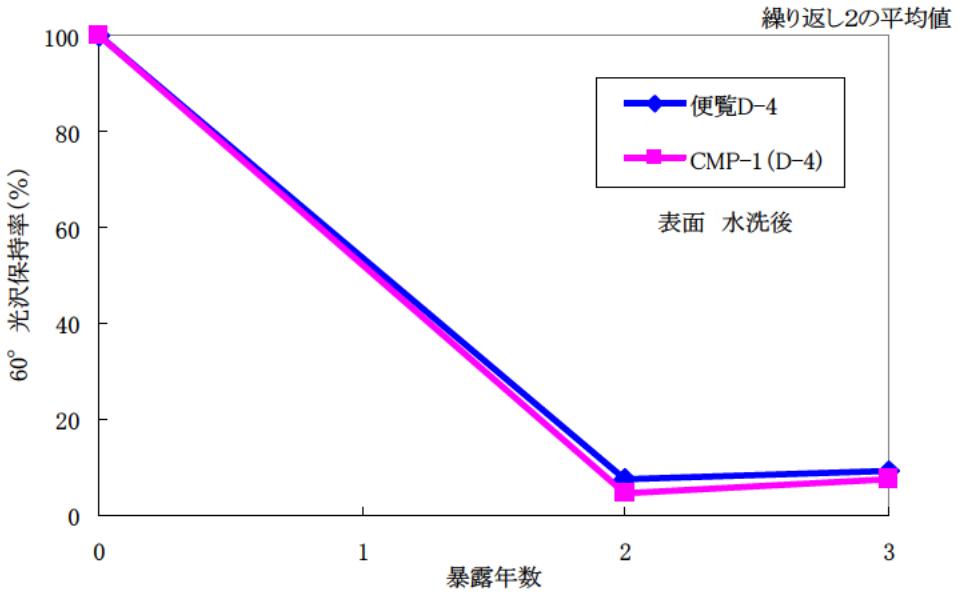
提案塗装系 No.	試験板No.	表裏	初期値	沖縄暴露３年後			
				水洗前		水洗後	
				光沢度	保持率	光沢度	保持率
便覧D-4 (基準)	便覧D-4	表	25.4	2.0	7.8	2.2	8.9
			24.3	1.9		2.2	
			24.2	1.9		2.2	
		平均値	24.6	1.9		2.2	
		裏	23.5	3.7	14.7	4.7	19.0
			24.0	3.3		4.7	
			24.5	3.6		4.3	
		平均値	24.0	3.5		4.6	
CMP-1 (D4)	C-8	表	26.1	1.8	7.5	1.9	7.7
			24.0	1.9		1.9	
			24.8	1.9		2.0	
		平均値	25.0	1.9		1.9	
		裏	42.8	2.1	4.9	3.6	8.9
			42.9	2.1		3.6	
			43.0	2.1		4.2	
		平均値	42.9	2.1		3.8	



図－7.3　便覧 D-4 対応　光沢保持率（沖縄）

表－7.10　便覧 D-4 対応　光沢度（つくば）

提案塗装系 No.	試験板No.	表裏	初期値	つくば暴露３年後			
				水洗前		水洗後	
				光沢度	保持率	光沢度	保持率
便覧D-4（基準）	便覧D-4	表	31.6	1.4	4.9	2.1	7.5
			28.0	1.4		2.1	
			26.2	1.4		2.2	
		平均値	28.6	1.4		2.1	
		裏	17.3	3.1	16.1	8.0	40.4
			16.8	2.7		6.4	
			17.6	2.5		6.5	
		平均値	17.2	2.8		7.0	
CMP-1（D-4）	C-8	表	25.6	1.3	5.0	1.7	6.4
			26.4	1.3		1.7	
			28.3	1.4		1.7	
		平均値	26.8	1.3		1.7	
		裏	37.4	2.5	6.3	8.7	22.5
			39.4	2.4		8.7	
			39.6	2.4		8.8	
		平均値	38.8	2.4		8.7	



図－7.4　便覧 D-4 対応　光沢保持率（つくば）

（3）色差

1）便覧 C-4 対応塗装系

色差の評価結果を表－7.11，表－7.12 と図－7.5，図－7.6 に示す。

CMP-1（C-4）～4（C-4），および CMP-6（C-4）の上塗塗料は、いずれも厚膜形ふっ素樹脂塗料上塗である。これら厚膜形ふっ素樹脂塗料上塗は、基準となる便覧 C-4 塗装系と比較して、つくば，沖縄とも同等レベルであった。

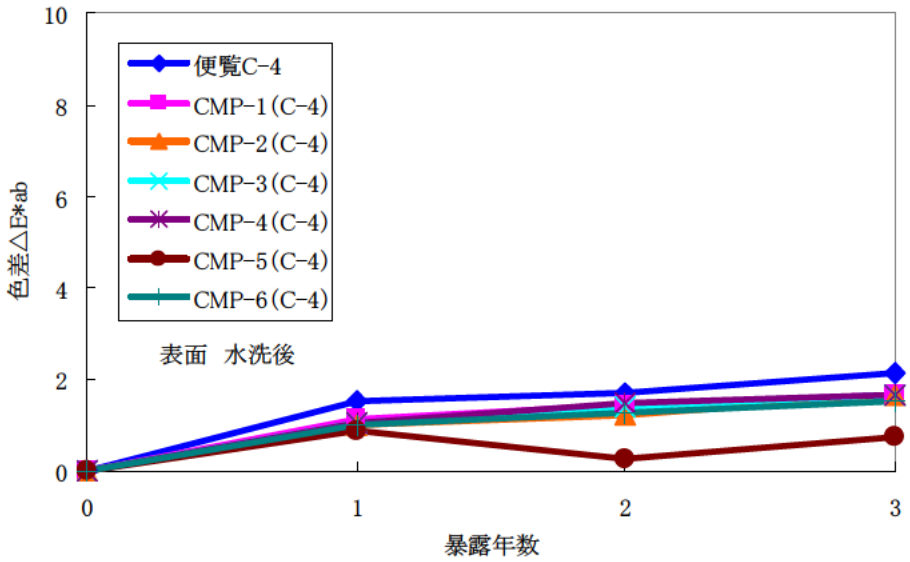
また、CMP-5（C-4）も、便覧 C-4 塗装系と同等な結果であった。

表－7.11　便覧 C-4 対応　色差（沖縄）

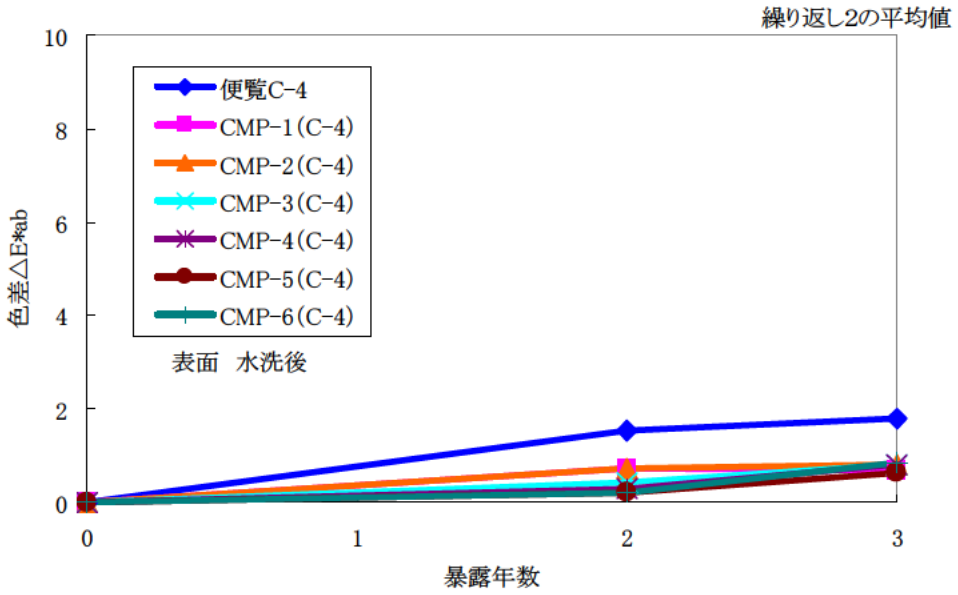
提案塗装系 No.	試験板No.	表裏	初期値			沖縄暴露３年後									
						水洗前					水洗後				
			L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	$\triangle L^*$	$\triangle E^*_{ab}$	L^*	a^*	b^*	$\triangle L^*$	$\triangle E^*_{ab}$
便覧C-4 (基準)	K-C-4	表	95.30	-0.30	1.03	93.38	-0.35	3.62	-1.91	3.20	94.43	-0.38	2.98	-0.89	2.16
			95.35	-0.29	1.04	93.45	-0.33	3.59			94.43	-0.44	3.01		
		平均値	95.33	-0.30	1.04	93.42	-0.34	3.61			94.43	-0.41	3.00		
		裏	95.72	-0.33	1.32	93.48	-0.38	2.90	-3.70	3.97	95.48	-0.40	2.49	-2.33	2.55
			95.75	-0.29	1.42	90.59	-0.58	2.70			91.34	-0.78	2.26		
		平均値	95.74	-0.31	1.37	92.04	-0.48	2.80			93.41	-0.59	2.38		
CMP-1 (C-4)	C-1	表	96.34	-0.46	-0.21	94.87	-0.64	2.04	-1.43	2.61	95.83	-0.67	1.46	-0.34	1.64
			96.37	-0.44	-0.13	94.99	-0.64	1.98			96.20	-0.68	1.37		
		平均値	96.36	-0.45	-0.17	94.93	-0.64	2.01			96.02	-0.68	1.42		
		裏	96.97	-0.43	0.04	96.22	-0.59	1.82	-0.63	1.92	97.03	-0.52	1.00	0.25	0.97
			96.87	-0.41	0.00	96.36	-0.54	1.84			97.31	-0.57	0.89		
		平均値	96.92	-0.42	0.02	96.29	-0.57	1.83			97.17	-0.55	0.95		
CMP-2 (C-4)	C-2	表	96.51	-0.43	-0.01	94.72	-0.58	2.30	-1.72	2.81	96.29	-0.58	1.70	-0.19	1.64
			96.69	-0.45	0.01	95.04	-0.51	2.14			96.53	-0.64	1.53		
		平均値	96.60	-0.44	0.00	94.88	-0.55	2.22			96.41	-0.61	1.62		
		裏	96.31	-0.45	-0.14	95.61	-0.65	1.75	-0.34	1.77	96.12	-0.58	0.66	-0.09	0.97
			96.05	-0.51	-0.29	96.07	-0.62	1.28			96.05	-0.57	0.84		
		平均値	96.18	-0.48	-0.22	95.84	-0.64	1.52			96.09	-0.58	0.75		
CMP-3 (C-4)	C-3	表	96.79	-0.46	-0.06	95.31	-0.58	2.26	-1.45	2.63	96.44	-0.62	1.56	-0.24	1.65
			96.87	-0.47	0.06	95.46	-0.55	2.14			96.74	-0.61	1.69		
		平均値	96.83	-0.47	0.00	95.39	-0.57	2.20			96.59	-0.62	1.63		
		裏	97.15	-0.46	0.13	96.70	-0.66	2.08	-0.43	1.80	97.37	-0.57	0.84	-0.39	0.98
			97.07	-0.48	0.07	96.66	-0.56	1.61			96.08	-0.62	1.15		
		平均値	97.11	-0.47	0.10	96.68	-0.61	1.85			96.73	-0.60	1.00		
CMP-4 (C-4)	C-4	表	96.74	-0.47	0.01	95.35	-0.63	2.30	-1.50	2.71	96.75	-0.60	1.73	0.01	1.64
			96.93	-0.45	0.13	95.33	-0.60	2.36			96.94	-0.67	1.68		
		平均値	96.84	-0.46	0.07	95.34	-0.62	2.33			96.85	-0.64	1.71		
		裏	96.60	-0.45	-0.21	95.66	-0.64	1.19	-0.93	1.64	96.57	-0.63	0.64	-0.53	1.17
			96.52	-0.46	-0.22	95.60	-0.63	1.06			95.48	-0.68	0.98		
		平均値	96.56	-0.46	-0.22	95.63	-0.64	1.13			96.03	-0.66	0.81		
CMP-5 (C-4)	C-5	表	95.37	-0.64	-0.11	95.36	-0.65	0.48	0.07	0.67	96.04	-0.62	-0.01	0.73	0.74
			95.35	-0.68	-0.13	95.50	-0.64	0.62			96.15	-0.66	-0.01		
		平均値	95.36	-0.66	-0.12	95.43	-0.65	0.55			96.10	-0.64	-0.01		
		裏	96.16	-0.49	0.03	95.93	-0.56	1.86	-1.46	2.30	95.92	-0.47	0.98	-0.28	0.99
			96.05	-0.48	0.13	93.35	-0.46	1.85			95.73	-0.48	1.07		
		平均値	96.11	-0.49	0.08	94.64	-0.51	1.86			95.83	-0.48	1.03		
CMP-6 (C-4)	C-6	表	96.82	-0.33	0.22	95.78	-0.51	2.23	-0.84	2.10	96.33	-0.52	1.86	-0.18	1.53
			96.63	-0.31	0.22	95.99	-0.49	2.05			96.76	-0.50	1.60		
		平均値	96.73	-0.32	0.22	95.89	-0.50	2.14			96.55	-0.51	1.73		
		裏	96.84	-0.37	0.21	96.34	-0.57	2.18	-0.31	1.66	97.05	-0.50	1.26	0.14	1.05
			96.96	-0.40	0.25	96.83	-0.50	1.52			97.04	-0.46	1.28		
		平均値	96.90	-0.39	0.23	96.59	-0.54	1.85			97.05	-0.48	1.27		

表－7.12　便覧 C-4 対応　色差（つくば）

提案塗装系 No.	試験板No.	表裏	初期値			つくば暴露３年後									
						水洗前					水洗後				
			L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	$\triangle L^*$	$\triangle E^*_{ab}$	L^*	a^*	b^*	$\triangle L^*$	$\triangle E^*_{ab}$
便覧C-4 (基準)	K-C-4	表	95.60	-0.36	1.56	89.23	-0.02	3.35	-6.43	6.68	93.51	-0.23	2.79	-2.00	2.30
			95.63	-0.36	1.53	89.13	-0.07	3.30			93.72	-0.24	2.55		
		平均値	95.62	-0.36	1.55	89.18	-0.05	3.33			93.62	-0.24	2.67		
		裏	94.45	-0.22	2.03	93.07	-0.28	3.09	-1.88	2.12	95.32	-0.40	2.38	0.11	0.41
			95.60	-0.26	1.92	93.23	-0.34	2.83			94.96	-0.41	2.29		
		平均値	95.03	-0.24	1.98	93.15	-0.31	2.96			95.14	-0.41	2.34		
CMP-1 (C-4)	C-1	表	97.17	-0.52	0.58	92.04	-0.26	2.41	-5.12	5.47	96.40	-0.42	1.01	-0.63	0.77
			97.01	-0.48	0.51	91.91	-0.25	2.51			96.53	-0.42	0.98		
		平均値	97.09	-0.50	0.55	91.98	-0.26	2.46			96.47	-0.42	1.00		
		裏	96.27	-0.54	0.41	94.53	-0.26	1.33	-1.90	2.11	96.64	-0.34	0.66	0.08	0.33
			96.87	-0.55	0.41	94.82	-0.27	1.24			96.66	-0.39	0.68		
		平均値	96.57	-0.55	0.41	94.68	-0.27	1.29			96.65	-0.37	0.67		
CMP-2 (C-4)	C-2	表	96.24	-0.57	0.31	91.28	-0.24	2.09	-4.83	5.16	95.45	-0.48	0.63	-0.74	0.84
			96.25	-0.56	0.10	91.56	-0.26	1.94			95.56	-0.48	0.57		
		平均値	96.25	-0.57	0.21	91.42	-0.25	2.02			95.51	-0.48	0.60		
		裏	97.36	-0.49	0.72	95.30	-0.27	1.75	-2.02	2.28	97.23	-0.42	0.95	-0.10	0.32
			97.23	-0.48	0.58	95.26	-0.26	1.65			97.16	-0.38	0.93		
		平均値	97.30	-0.49	0.65	95.28	-0.27	1.70			97.20	-0.40	0.94		
CMP-3 (C-4)	C-3	表	97.01	-0.48	0.48	91.32	-0.11	2.38	-5.51	5.82	96.45	-0.29	1.02	-0.59	0.79
			97.17	-0.50	0.58	91.85	-0.14	2.38			96.54	-0.34	1.03		
		平均値	97.09	-0.49	0.53	91.59	-0.13	2.38			96.50	-0.32	1.03		
		裏	97.18	-0.52	0.59	94.70	-0.32	1.73	-2.34	2.57	97.03	-0.42	0.78	-0.24	0.33
			97.24	-0.53	0.52	95.05	-0.31	1.49			96.91	-0.45	0.74		
		平均値	97.21	-0.53	0.56	94.88	-0.32	1.61			96.97	-0.44	0.76		
CMP-4 (C-4)	C-4	表	97.17	-0.50	0.56	91.83	-0.09	2.34	-5.40	5.71	96.75	-0.33	1.08	-0.47	0.69
			97.23	-0.50	0.60	91.77	-0.12	2.44			96.72	-0.32	1.04		
		平均値	97.20	-0.50	0.58	91.80	-0.11	2.39			96.74	-0.33	1.06		
		裏	96.39	-0.54	0.20	94.62	-0.33	1.21	-1.80	2.12	96.25	-0.43	0.56	0.03	0.43
			96.54	-0.58	0.17	94.72	-0.35	1.38			96.73	-0.41	0.63		
		平均値	96.47	-0.56	0.19	94.67	-0.34	1.30			96.49	-0.42	0.60		
CMP-5 (C-4)	C-5	表	96.50	-0.50	0.52	92.37	-0.12	1.54	-3.60	3.76	95.87	-0.20	0.61	-0.30	0.42
			96.39	-0.49	0.48	93.32	-0.18	1.55			96.41	-0.21	0.47		
		平均値	96.45	-0.50	0.50	92.85	-0.15	1.55			96.14	-0.21	0.54		
		裏	95.77	-0.51	0.19	94.12	-0.37	1.63	-1.69	2.31	95.14	-0.42	1.23	-0.59	1.28
			95.89	-0.58	0.18	94.15	-0.38	1.87			95.34	-0.42	1.39		
		平均値	95.83	-0.55	0.19	94.14	-0.38	1.75			95.24	-0.42	1.31		
CMP-6 (C-4)	C-6	表	96.93	-0.37	0.80	91.12	0.06	2.50	-5.69	5.94	96.57	-0.22	1.12	-0.54	0.63
			97.23	-0.37	0.80	91.67	-0.04	2.45			96.52	-0.19	1.05		
		平均値	97.08	-0.37	0.80	91.40	0.01	2.48			96.55	-0.21	1.09		
		裏	96.68	-0.40	0.58	94.66	-0.19	1.45	-2.04	2.23	96.66	-0.26	0.76	0.03	0.21
			96.64	-0.41	0.60	94.59	-0.21	1.53			96.71	-0.27	0.73		
		平均値	96.66	-0.41	0.59	94.63	-0.20	1.49			96.69	-0.27	0.75		



図－7.5　便覧 C-4 対応　色差（沖縄）



図－7.6　便覧 C-4 対応　色差（つくば）

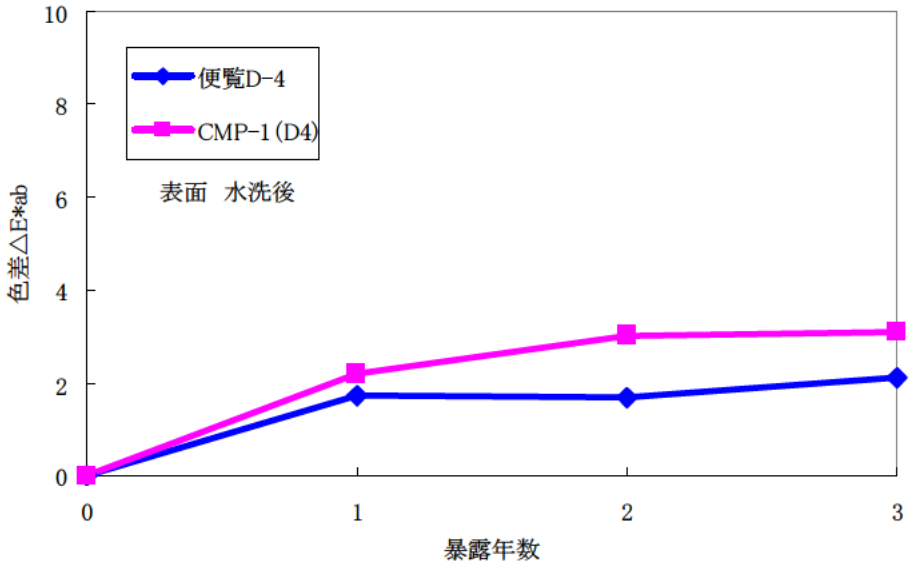
2）便覧 D-4 対応塗装系

色差の評価結果を表－7.13，表－7.14 と図－7.7，図－7.8 に示す。

CMP-1（D-4）は、基準となる便覧 D-4 塗装系と比較して、やや色差が大きかった。

表－7.13　便覧 D-4 対応　色差（沖縄）

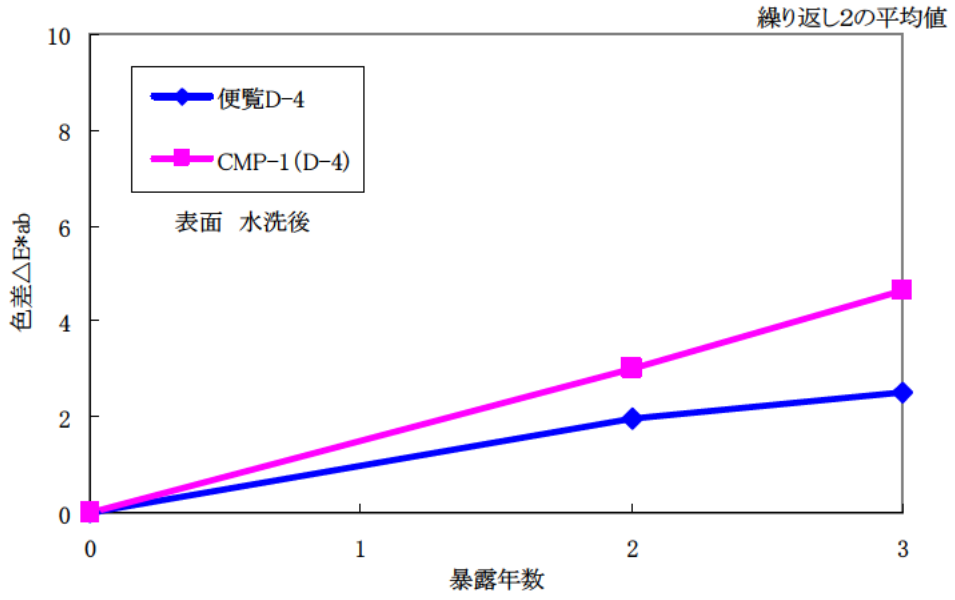
提案塗装系 No.	試験板No.	表裏	初期値			沖縄暴露３年後									
						水洗前					水洗後				
			L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	$\triangle L^*$	$\triangle E^*_{ab}$	L^*	a^*	b^*	$\triangle L^*$	$\triangle E^*_{ab}$
便覧D-4 (基準)	便覧D-4	表	94.91	-2.23	5.91	93.27	-0.74	4.56	-1.81	6.58	93.47	-0.87	5.37	-1.48	2.10
			94.84	-2.31	5.97	92.87	8.63	4.94			93.32	-0.85	5.51		
		平均値	94.88	-2.27	5.94	93.07	3.95	4.75			93.40	-0.86	5.44		
		裏	95.01	-2.17	5.97	92.17	-0.83	4.83	-3.05	3.42	93.69	-0.80	5.64	-1.97	2.44
			95.02	-2.17	5.92	91.77	-0.91	5.36			92.40	-1.02	4.87		
		平均値	95.02	-2.17	5.95	91.97	-0.87	5.10			93.05	-0.91	5.26		
CMP-1 (D-4)	C-8	表	93.66	-0.79	4.40	92.83	-0.15	5.09	-0.99	1.38	92.55	-0.51	7.26	-1.24	3.10
			93.71	-0.80	4.44	92.57	-0.22	5.24			92.35	-0.47	7.24		
		平均値	93.69	-0.80	4.42	92.70	-0.19	5.17			92.45	-0.49	7.25		
		裏	93.94	-0.85	4.46	92.60	-0.76	8.18	-1.23	3.93	93.04	-0.68	8.43	-0.67	3.73
			93.96	-0.87	4.44	92.83	-0.86	8.18			93.52	-0.68	7.80		
		平均値	93.95	-0.86	4.45	92.72	-0.81	8.18			93.28	-0.68	8.12		



図－7.7　便覧 D-4 対応　色差（沖縄）

表－7.14　便覧 D-4 対応　色差（つくば）

提案塗装系 No.	試験板No.	表裏	初期値			つくば暴露３年後									
						水洗前					水洗後				
			L^*	a^*	b^*	L^*	a^*	b^*	$\triangle L^*$	$\triangle E^*_{ab}$	L^*	a^*	b^*	$\triangle L^*$	$\triangle E^*_{ab}$
便覧D-4 (基準)	便覧D-4	表	95.30	-2.45	6.33	90.80	-0.65	4.37	-4.27	5.02	93.52	-1.02	5.67	-1.66	2.36
			95.28	-2.49	6.38	91.24	-0.69	4.49			93.74	-0.99	5.42		
		平均値	95.29	-2.47	6.36	91.02	-0.67	4.43			93.63	-1.01	5.55		
		裏	95.44	-2.29	5.94	92.02	-0.99	7.49	-3.33	3.85	94.05	-1.24	7.77	-1.32	2.40
			95.45	-2.12	5.95	92.20	-1.03	7.41			94.19	-1.26	7.64		
		平均値	95.45	-2.21	5.95	92.11	-1.01	7.45			94.12	-1.25	7.71		
CMP-1 (D-4)	C-8	表	93.78	-0.76	4.57	90.14	-0.36	5.59	-3.69	3.89	91.97	-0.85	8.19	-2.04	4.16
			93.89	-0.81	4.62	90.16	-0.43	5.97			91.62	-0.89	8.24		
		平均値	93.84	-0.79	4.60	90.15	-0.40	5.78			91.80	-0.87	8.22		
		裏	94.11	-0.74	4.59	91.94	-0.77	8.25	-2.33	4.40	92.77	-1.03	9.40	-1.22	5.11
			94.11	-0.79	4.61	91.61	-0.76	8.42			93.01	-1.14	9.71		
		平均値	94.11	-0.77	4.60	91.78	-0.77	8.34			92.89	-1.09	9.56		



図－7.8　便覧 D-4 対応　色差（つくば）

（4）塗膜表面観察

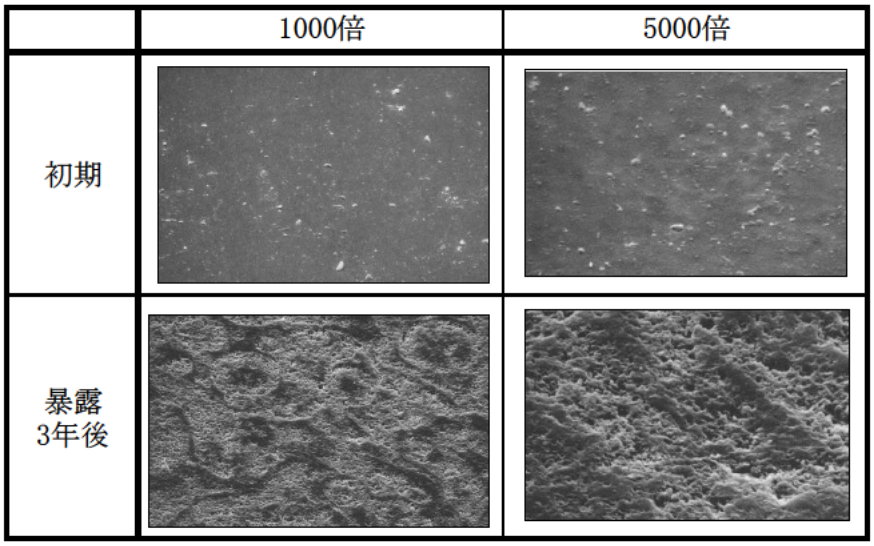
1）便覧 C-4 塗装系（K-C-4）

上塗り(強溶剤形ふっ素樹脂塗料上塗)塗膜の屋外暴露試験開始前と沖縄暴露試験３年後の表面状態を観察することで、塗膜の劣化状態の把握を行った。

①走査型電子顕微鏡観察

写真－7.3 に SEM で塗膜表面を観察した結果を示す。

暴露３年で塗膜表面の樹脂層が劣化・消失し始めていることが確認できた。

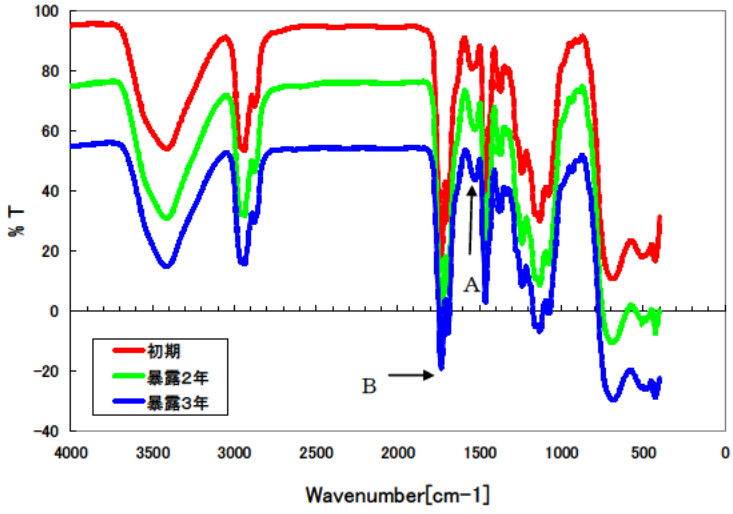


写真－7.3　SEM による塗膜表面状態の観察

②FT-IR 観察

図－7.9 に FT-IR で表面樹脂の劣化状態を観察した結果を示す。

また、表－7.15 に樹脂劣化過程において変化が顕在化すると思われる特定吸収部位での吸光度比の解析結果を示したが、暴露試験３年でもほとんど変化は生じていなかった。



表－7.15 特定吸収部位での吸光度比の解析結果

吸光度比	A/B
初期	0.08
暴露2年後	0.10
暴露3年後	0.08

A：1540cm^{-1}　ｳﾚﾀﾝ結合のC-N伸縮振動、N-H　変角振動

B：1730cm^{-1}　ｴｽﾃﾙのC＝O伸縮振動

図－7.9　FT-IR チャート

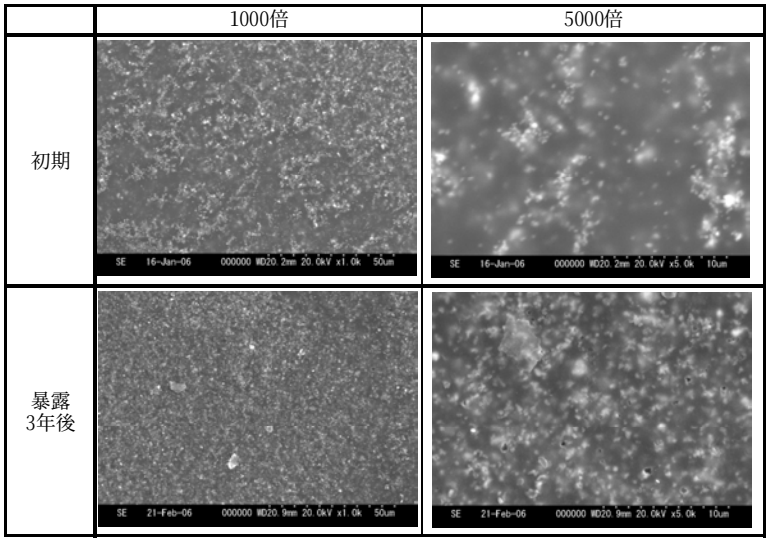
2）CMP-1（C-4）～CMP-4（C-4），CMP-6（C-4）

上塗り(厚膜形ふっ素樹脂塗料上塗)塗膜の屋外暴露試験開始前と沖縄暴露試験３年後の表面状態を観察することで、塗膜の劣化状態の把握を行った。

①走査型電子顕微鏡観察

写真－7.4 に SEM で塗膜表面を観察した結果を示す。

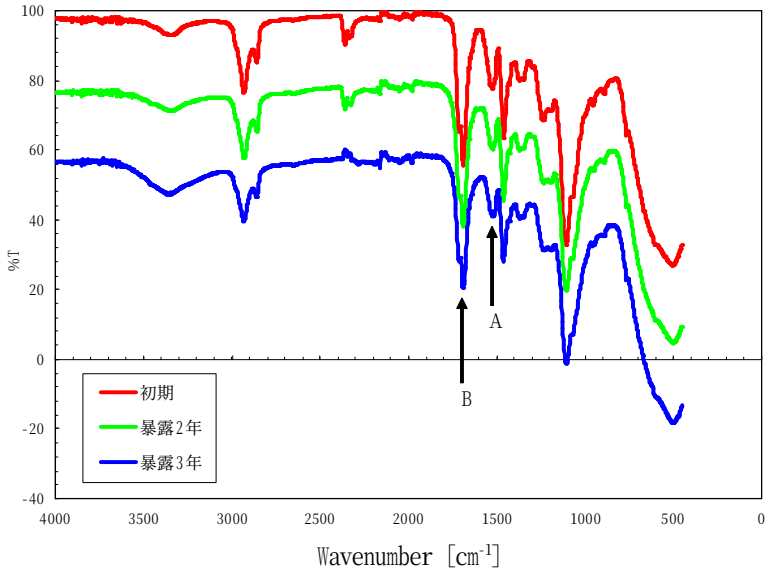
暴露３年で塗膜表面の樹脂層がやや劣化・消失し始めていることが確認できた。



写真－7.4　SEM による塗膜表面状態の観察

②FT-IR 観察

図－７．10 に FT-IR で表面樹脂の劣化状態を観察した結果を示す。また、表－7.16 に樹脂劣化過程において変化が顕在化すると思われる特定吸収部位での吸光度比の解析結果を示したが、暴露試験３年でも変化は生じていなかった。



図－7.10　FT-IR チャート

表－7.16　特定吸収部位での吸光度比の解析結果

吸光度比	A/B
初期	0.34
暴露2年後	0.33
暴露3年後	0.34

A：1540cm^{-1}　C-N　伸縮振動、
　　N-H　変角振動（-CO-NH-）
B：1730cm^{-1}　ｴｽﾃﾙのC＝O伸縮振動

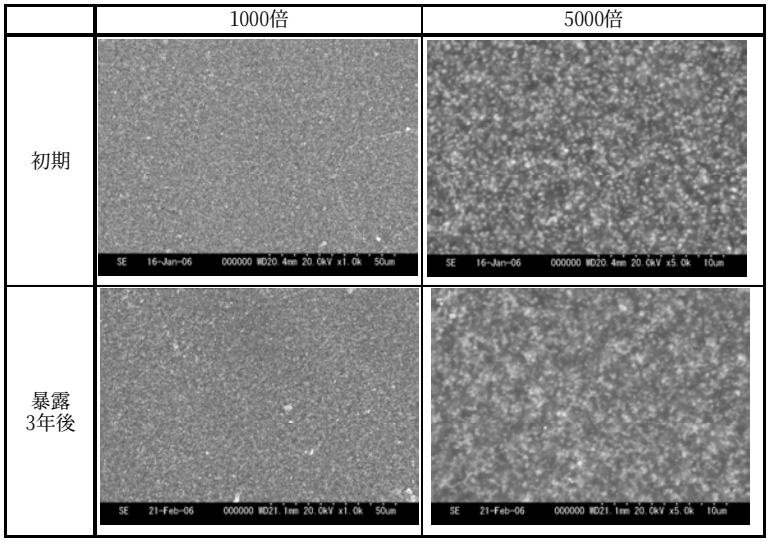
3）CMP-5（C-4）

上塗り(無機質系塗料上塗)塗膜の屋外暴露試験開始前と沖縄暴露試験３年後の表面状態を観察することで、塗膜の劣化状態の把握を行った。

①走査型電子顕微鏡観察

写真－7.5 に SEM で塗膜表面を観察した結果を示す。

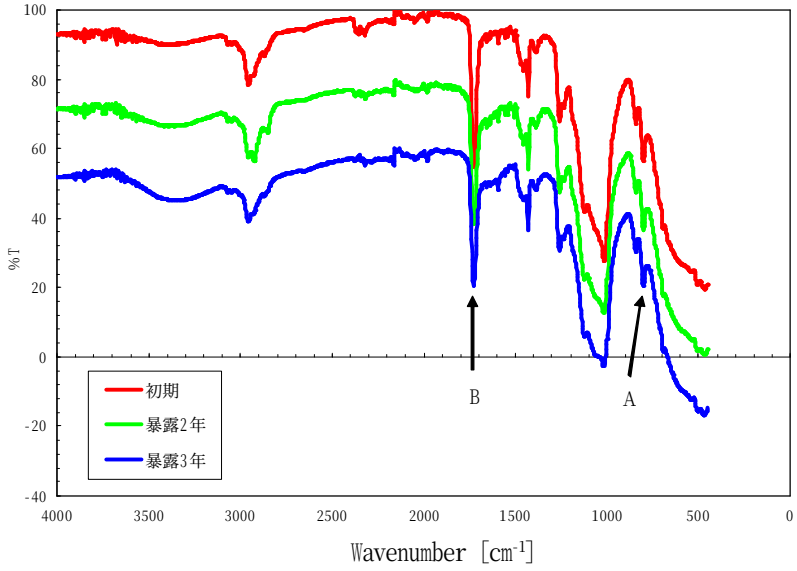
暴露３年で塗膜表面の樹脂層がやや劣化・消失し始めていることが確認できた。



写真－7.5　SEM による塗膜表面状態の観察

②FT-IR 観察

図－７．11 に F　T-IR で表面樹脂の劣化状態を観察した結果を示す。また、表－7.17 に樹脂劣化過程において変化が顕在化すると思われる特定吸収部位での吸光度比の解析結果を示したが、暴露試験３年でも変化は生じていなかった。



図－7.11　FT-IR チャート

表－7.17　特定吸収部位での吸光度比の解析結果

吸光度比	A/B
初期	0.35
暴露2年後	0.35
暴露3年後	0.35

A：800cm^{-1}　Si-C　伸縮振動

B：1710cm^{-1}　C=0　伸縮振動

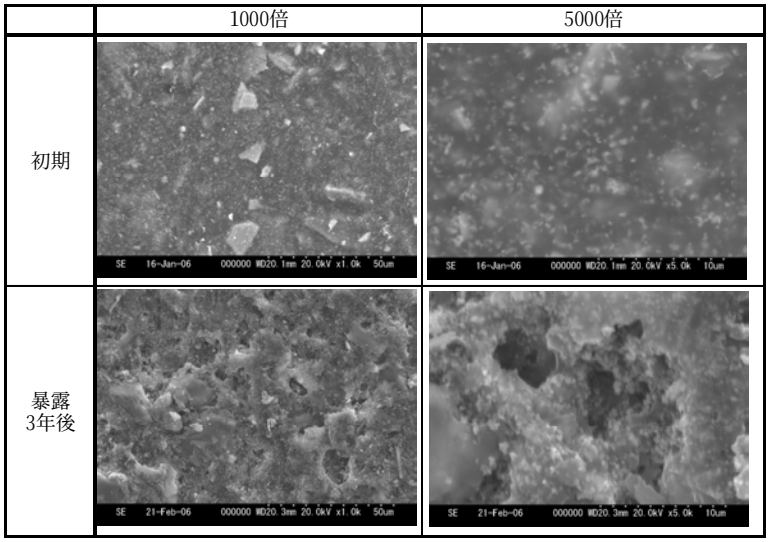
４）便覧 D-4 塗装系（便覧 D-4）

上塗り(変性エポキシ樹脂塗料内面用)塗膜の屋外暴露試験開始前と沖縄暴露試験３年後の表面状態を観察することで、塗膜の劣化状態の把握を行った。

①走査型電子顕微鏡観察

写真－7.6 に SEM で塗膜表面を観察した結果を示す。

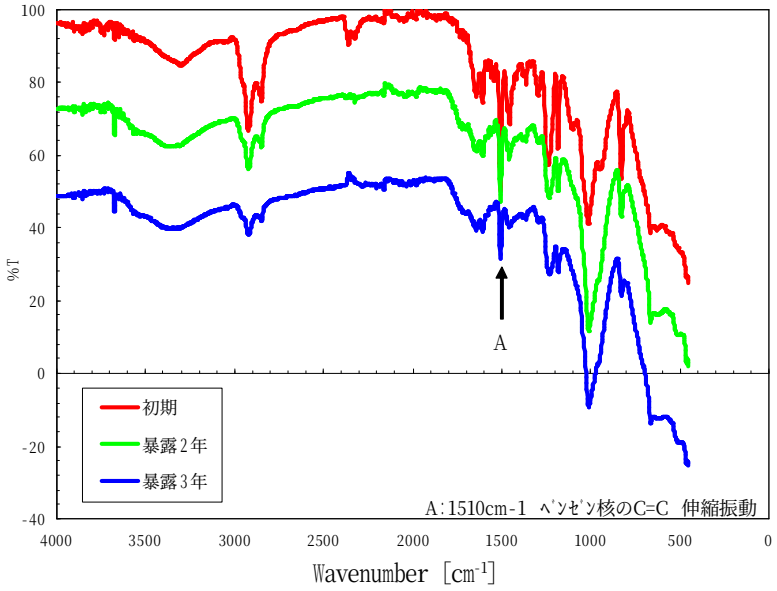
暴露３年で塗膜表面の樹脂層が劣化・消失していることが確認できた。



写真－7.6　SEM による塗膜表面状態の観察

②FT-IR 観察

図－7.12 に FT-IR で表面樹脂の劣化状態を観察した結果を示す。エポキシ樹脂の特性吸収ピークである 1510cm^{-1} の吸収ピークが減少していることが確認できた。



図－7.12　FT-IR チャート

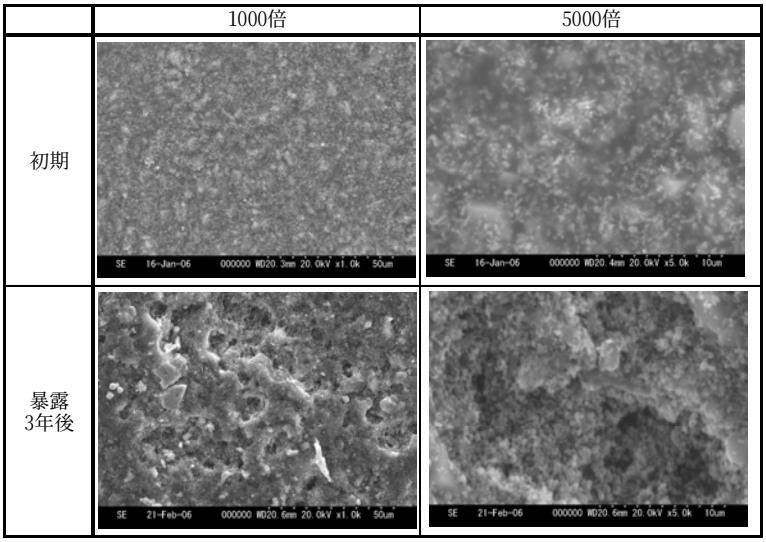
５）CMP-1（D-4）

上塗り(変性エポキシ樹脂塗料)塗膜の屋外暴露試験開始前と沖縄暴露試験３年後の表面状態を観察することで、塗膜の劣化状態の把握を行った。

①走査型電子顕微鏡観察

写真－7.7 に SEM で塗膜表面を観察した結果を示す。

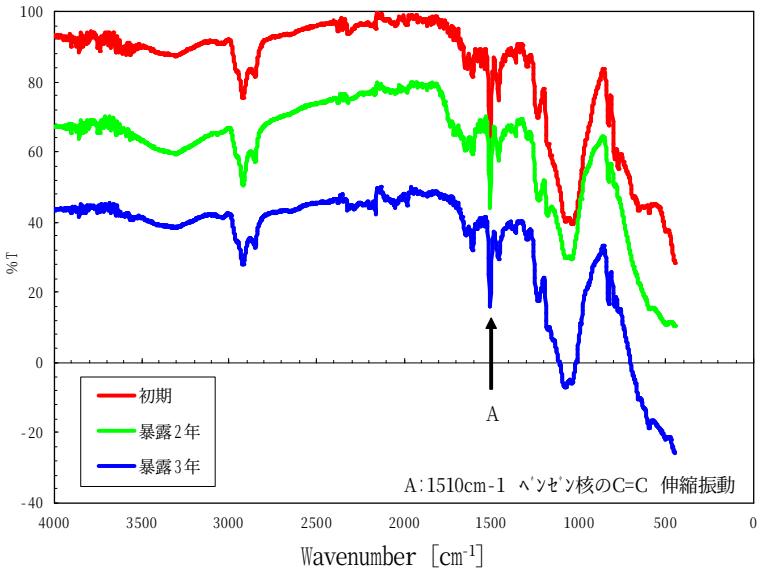
暴露３年で塗膜表面の樹脂層が劣化・消失していることが確認できた。



写真－7.7　SEM による塗膜表面状態の観察

②FT-IR 観察

図－7.13 に FT-IR で表面樹脂の劣化状態を観察した結果を示した。エポキシ樹脂の特性吸収ピークである 1510cm^{-1} の吸収ピークが減少していることが確認できた。



図－7.13　FT-IR チャート

（5）インピーダンス

1）便覧 C-4 対応塗装系

インピーダンスの測定結果を表−7.18 に示す。

沖縄暴露３年では特に大きな変化は見られなかった。

表−7.18　便覧 C-4 対応　インピーダンス測定結果

提案塗装系No.	試験板No.	周波数 (kHz)	初期値			沖縄暴露３年後		
			抵抗値 (kΩ)	静電容量 (nF)	tanδ	抵抗値 (kΩ)	静電容量 (nF)	tanδ
便覧C-4 (基準)	K-C-4	0.2	14286	0.56	0.10	12500	0.43	0.15
		0.5	6667	0.53	0.09	7692	0.41	0.10
		1.0	4000	0.51	0.08	4762	0.39	0.09
		5.0	833	0.51	0.07	1613	0.39	0.05
CMP-1 (C-4)	C-1	0.2	6250	1.14	0.11	3030	1.11	0.24
		0.5	2857	1.07	0.10	1613	0.98	0.20
		1.0	1613	1.02	0.10	1031	0.91	0.17
		5.0	435	0.96	0.08	357	0.82	0.11
CMP-2 (C-4)	C-2	0.2	7143	1.10	0.10	4000	1.18	0.17
		0.5	3226	1.00	0.10	2041	1.09	0.14
		1.0	1786	1.00	0.09	1190	1.03	0.13
		5.0	476	0.90	0.07	370	0.94	0.09
CMP-3 (C-4)	C-3	0.2	7143	1.06	0.11	7143	0.91	0.12
		0.5	3226	1.00	0.10	3226	0.85	0.12
		1.0	1852	0.96	0.09	1818	0.80	0.11
		5.0	556	0.88	0.07	546	0.75	0.08
CMP-4 (C-4)	C-4	0.2	5556	1.44	0.10	10000	0.86	0.09
		0.5	2500	1.36	0.09	4545	0.82	0.09
		1.0	1429	1.31	0.09	2564	0.78	0.08
		5.0	417	1.24	0.06	735	0.76	0.06
CMP-5 (C-4)	C-5	0.2	9091	0.92	0.10	3571	0.99	0.23
		0.5	4348	0.87	0.08	1961	0.89	0.18
		1.0	2564	0.85	0.07	1250	0.83	0.15
		5.0	714	0.79	0.06	435	0.77	0.10
CMP-6 (C-4)	C-6	0.2	7143	1.10	0.10	4000	1.21	0.16
		0.5	3226	1.00	0.10	2000	1.11	0.14
		1.0	1852	0.95	0.09	1190	1.04	0.13
		5.0	526	0.90	0.07	370	0.96	0.09

2）便覧 D-4 対応塗装系

インピーダンスの測定結果を表−7.19 に示す。

沖縄暴露３年では特に大きな変化は見られなかった。

表−7.19　便覧 D-4 対応　インピーダンス測定結果

提案塗装系No.	試験板No.	周波数 (kHz)	初期値			沖縄暴露３年後		
			抵抗値 (kΩ)	静電容量 (nF)	tanδ	抵抗値 (kΩ)	静電容量 (nF)	tanδ
便覧D-4 (基準)	便覧D-4	0.2	16667	0.68	0.07	4762	0.92	0.18
		0.5	7143	0.66	0.07	2500	0.83	0.15
		1.0	4000	0.64	0.06	1538	0.78	0.13
		5.0	1000	0.63	0.05	508	0.73	0.09
CMP-1 (D-4)	C-8	0.2	14286	0.84	0.07	3846	1.08	0.19
		0.5	6667	0.82	0.06	1923	0.97	0.17
		1.0	3704	0.80	0.05	1190	0.91	0.15
		5.0	909	0.78	0.04	417	0.83	0.09

（6）直流抵抗値

1）便覧 C-4 対応塗装系

直流抵抗値の測定結果を表－7.20 に示す。

沖縄暴露２年では特に大きな変化は見られなかった。

表－7.20　便覧 C-4 対応　直流抵抗値測定結果

提案塗装系No.	試験板No.	直流抵抗値（Ω・ｃｍ）	
		初期	２年後
便覧C-4 (基準)	K-C-4	1.45E+10	1.44E+10
CMP-1 (C-4)	C-1	4.26E+11	6.21E+10
CMP-4 (C-4)	C-4	1.47E+11	4.11E+10
CMP-5 (C-4)	C-5	1.90E+11	1.45E+10
CMP-6 (C-4)	C-6	3.38E+11	7.53E+10

2）便覧 D-4 対応塗装系

直流抵抗値の測定結果を表－7.21 に示す。

沖縄暴露２年では特に大きな変化は見られなかった。

表－7.21　便覧 D-4 対応　直流抵抗値測定結果

提案塗装系No.	試験板No.	直流抵抗値（Ω・ｃｍ）	
		初期	２年後
便覧D-4 (基準)	便覧D-4	9.08E+09	2.20E+09
CMP-1 (D-4)	C-8	2.76E+10	1.09E+09

７．２．２　複合サイクル試験（CCT）

（1）便覧 C-4 対応塗装系

塗膜外観観察結果を表－7.22, 表－7.23 に、土研式 250 サイクル後／ＪＩＳ式 CCT 1000 サイクル後に実施した付着性評価および記録写真(表面)を写真－7.8 に示す。

CMP-1（C-4）～CMP-6（C-4）は、基準となる便覧 C-4 塗装系と同等な結果であった。

表－7.22　塗膜外観（土研式 CCT）

提案塗装系No.	試験板No.	10サイクル		30サイクル		50サイクル		100サイクル	
		一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部
便覧C-4（基準）	K-C-4	○	0mm	○	0mm	○	0mm	○	0mm
CMP-1(C-4)	C-1	○	0mm	○	0mm	○	2mm	○	2mm
CMP-2(C-4)	C-2	○	0mm	○	0mm	○	0mm	○	2mm
CMP-3(C-4)	C-3	○	0mm	○	0mm	○	2mm	○	2mm
CMP-4(C-4)	C-4	○	0mm	○	0mm	○	1mm	○	1mm
CMP-5(C-4)	C-5	○	0mm	○	0mm	○	0mm	○	0mm
CMP-6(C-4)	C-6	○	0mm	○	0mm	○	0mm	○	0mm

提案塗装系No.	試験板No.	150サイクル		200サイクル		250サイクル	
		一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部
便覧C-4（基準）	K-C-4	○	2mm	○	2mm	○	3mm
CMP-1(C-4)	C-1	○	1mm	○	2mm	○	2mm
CMP-2(C-4)	C-2	○	1mm	○	2mm	○	3mm
CMP-3(C-4)	C-3	○	1mm	○	1mm	○	3mm
CMP-4(C-4)	C-4	○	0mm	○	0mm	○	3mm
CMP-5(C-4)	C-5	○	0mm	○	1mm	○	2mm
CMP-6(C-4)	C-6	○	0mm	○	0mm	○	2mm

○：異常なし

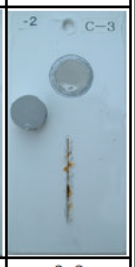
表－7.23　塗膜外観（ＪＩＳ式 CCT）

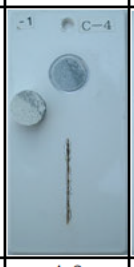
提案塗装系No.	試験板No.	200サイクル		400サイクル		600サイクル		800サイクル		1000サイクル	
		一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部
便覧C-4（基準）	K-C-4	○	0mm	○	2mm	○	3mm	○	3mm	○	3mm
CMP-1(C-4)	C-1	○	0mm	○	3mm	○	2mm	○	5mm	○	4mm
CMP-2(C-4)	C-2	○	0mm	○	3mm	○	2mm	○	3mm	○	4mm
CMP-3(C-4)	C-3	○	3mm	○	3mm	○	2mm	○	3mm	○	3mm
CMP-4(C-4)	C-4	○	2mm	○	3mm	○	2mm	○	3mm	○	5mm
CMP-5(C-4)	C-5	○	0mm	○	2mm	○	2mm	○	3mm	○	3mm
CMP-6(C-4)	C-6	○	0mm	○	0mm	○	0mm	○	1mm	○	2mm

試験板No.	土研式	ＪＩＳ式
便覧C-4 (基準)		
付着力(MPa)	3.1	3.2
はく離箇所	接着剤100%	下塗80%、 接15%、ｼﾞﾝｸ5%

試験板No.	土研式	ＪＩＳ式
CMP-1(C-4) C-1		
付着力(MPa)	3.3	3.8
はく離箇所	ｼﾞﾝｸ100%	ｼﾞﾝｸ90% 接着剤10%

試験板No.	土研式	ＪＩＳ式
CMP-2(C-4) C-2		
付着力(MPa)	3.5	3.5
はく離箇所	ｼﾞﾝｸ100%	ｼﾞﾝｸ80% 接着剤20%

試験板No.	土研式	ＪＩＳ式
CMP-3(C-4) C-3		
付着力(MPa)	5.0	3.8
はく離箇所	ｼﾞﾝｸ40% ｼﾞﾝｸ/下塗60%	接着剤100%

試験板No.	土研式	ＪＩＳ式
CMP-4(C-4) C-4		
付着力(MPa)	4.8	3.5
はく離箇所	ｼﾞﾝｸ/下塗 100%	接着剤95% ｼﾞﾝｸ5%

試験板No.	土研式	ＪＩＳ式
CMP-5(C-4) C-5		
付着力(MPa)	3.3	3.0
はく離箇所	ｼﾞﾝｸ100%	接着剤95% ｼﾞﾝｸ5%

試験板No.	土研式	ＪＩＳ式
CMP-6(C-4) C-6		
付着力(MPa)	2.8	4.8
はく離箇所	ｼﾞﾝｸ100%	接着剤60% ｼﾞﾝｸ40%

写真－7.8　付着性および記録写真（土研式 CCT および ＪＩＳ式 CCT）

（2）便覧 D-4 対応塗装系

塗膜外観観察結果を表－7.24, 表－7.25 に、土研式 250 サイクル後／ＪＩＳ式 CCT 1000 サイクル後に実施した付着性評価および記録写真(表面)を写真－7.9 に示す。

CMP-1（D-4）は、基準となる便覧 D-4 とほぼ同等な結果であった。

表－7.24　塗膜外観（土研式 CCT）

提案塗装系No.	試験板No.	10サイクル		30サイクル		50サイクル		100サイクル	
		一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部
便覧D-4（基準）	便覧D-4	○	0mm	○	0mm	○	3mm	○	4mm
CMP-1(D-4)	C-8	○	0mm	○	0mm	○	5mm	○	5mm

提案塗装系No.	試験板No.	150サイクル		200サイクル		250サイクル	
		一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部
便覧D-4（基準）	便覧D-4	○	2mm	○	3mm	○	4mm
CMP-1(D-4)	C-8	○	4mm	○	5mm	○	5mm

○：異常なし

表－7.25　塗膜外観（ＪＩＳ式 CCT）

提案塗装系No.	試験板No.	200サイクル		400サイクル		600サイクル		800サイクル		1000サイクル	
		一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部
便覧D-4（基準）	便覧D-4	○	0mm	○	2mm	○	5mm	○	5mm	○	6mm
CMP-1(D-4)	C-8	○	2mm	○	2mm	○	3mm	○	5mm	○	7mm

○：異常なし

試験板№	土研式	ＪＩＳ式	試験板№	土研式	ＪＩＳ式
便覧D-4 (基準)			CMP-1(D-4) C-8		
付着力(MPa)	4.5	5.0	付着力(MPa)	5.0	5.2
はく離箇所	接100%	接100%	はく離箇所	接100%	接100%

写真－7.9　付着性および記録写真（土研式 CCT およびＪＩＳ式 CCT）

７．２．３　促進耐候性試験（キセノンランプ法）

（１）便覧 C-4 対応塗装系

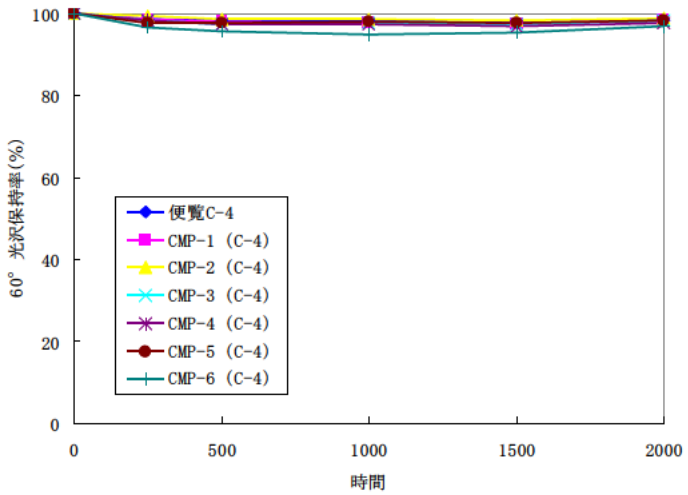
光沢度(60 度鏡面光沢度)の評価結果を表－7.26 と図－7.14 に示す。

CMP-1（C-4）～4（C-4），および CMP-6（C-4）の上塗塗料は、いずれも厚膜形ふっ素樹脂塗料上塗である。これら厚膜形ふっ素樹脂塗料上塗は、基準となる便覧 C-4 塗装系と比較して、同等の促進耐候性であった。

また、CMP-5（C-4）も、便覧 C-4 塗装系と同等な結果であった。

表－7.26　便覧 C-4 対応　光沢度

提案塗装系No.	試験板No.	測定点	照射時間					
			初期値	250	500	1000	1500	2000
便覧C-4(基準)	K-C-4	1	81.0	80.3	79.9	79.9	79.5	80.2
		2	80.7	79.2	79.1	79.1	78.4	78.9
		平均	80.9	79.8	79.5	79.5	79.0	79.6
CMP-1(C-4)	C-1	1	84.1	83.1	82.5	82.3	82.0	83.1
		2	83.1	81.9	81.4	81.0	80.9	81.7
		平均	83.6	82.5	82.0	81.7	81.5	82.4
CMP-2(C-4)	C-2	1	83.8	82.7	82.2	82.5	82.1	82.8
		2	81.7	81.6	80.9	80.9	80.4	80.9
		平均	82.8	82.2	81.6	81.7	81.3	81.9
CMP-3(C-4)	C-3	1	82.0	81.8	81.1	81.4	81.1	81.9
		2	84.1	81.3	80.9	81.0	80.6	81.7
		平均	83.1	81.6	81.0	81.2	80.9	81.8
CMP-4(C-4)	C-4	1	82.2	82.0	81.3	81.1	80.8	81.6
		2	84.7	81.9	81.3	81.4	80.9	81.7
		平均	83.5	82.0	81.3	81.3	80.9	81.7
CMP-5(C-4)	C-5	1	83.8	81.8	81.8	82.2	82.0	82.2
		2	83.9	82.2	82.0	82.2	82.0	82.6
		平均	83.9	82.0	81.9	82.2	82.0	82.4
CMP-6(C-4)	C-6	1	84.5	81.2	80.6	79.7	80.4	81.5
		2	82.6	80.2	79.5	78.8	79.1	80.3
		平均	83.6	80.7	80.1	79.3	79.8	80.9



図－7.14　便覧 C-4 対応　光沢保持率

7．2．4　耐湿性試験

（1）便覧 D-4 対応塗装系

塗膜外観観察結果を表－7.27 に、耐湿性試験 450 日後に実施した付着性評価および記録写真(表面)を写真－7.10 に示す。

CMP-1（D-4）は、基準となる便覧 D-4 と同等な結果であった。

表－7.27　塗膜外観

提案塗装系 No.	試験板No.	表裏	外観観察			
			50日	100日	250日	450日
便覧D-4 (基準)	便覧D-4	表	○	○	○	○
		裏	○	○	○	○
CMP-1 (D-4)	C-8	表	○	○	○	○
		裏	○	○	○	○

○：異常なし

試験板№	耐湿性試験 450日	試験板№	耐湿性試験 450日
便覧D-4 (基準)		CMP-1(D-4) C-8	
付着力(MPa)	4.5	付着力(MPa)	4.5
はく離箇所	ｼﾞﾝｸ/下100%	はく離箇所	素地/ｼﾞﾝｸ20% ｼﾞﾝｸ/下40% 接40%

写真－7.10　付着性および記録写真

7．2．5　塗膜性能試験

（1）便覧 C-4 対応塗装系

塗膜性能の評価結果を表－7.28 に示す。

基準となる便覧 C-4 塗装系と比較して、CMP-4（C-4），CMP-5（C-4），CMP-6（C-4）は、酸素透過性や透湿度(水蒸気透過度)の環境遮断機能がやや低くかったが、応力緩和能はほぼ同等であった。また、CMP-1（C-4）は、基準の便覧 C-4 塗装系と比べて応力緩和能は高い傾向であった。

表－7.28　便覧 C-4 対応　塗膜性能

提案塗装系No.	試験板No.	酸素透過性	透湿度（水蒸気透過性）		塗膜物性		
					応力緩和	破断ひずみ	破断応力（最大点－応力）
		酸素透過係数 ($\times10^{-11}$)	透湿度 ($g/m^2\cdot24h$)	透過係数 ($\times10^{-3}$)	応力の半減期	最大伸び率(%)	(kgf/cm^2)
便覧C-4(基準)	K-C-4	0.8	2.6	1.0	70時間以上	3.4	236
CMP-1(C-4)	C-1	2.2	2.0	0.6	17分	4.1	376
CMP-4(C-4)	C-4	2.0	12.5	1.8	60時間以上	2.6	374
CMP-5(C-4)	C-5	2.5	6.8	2.0	60時間以上	3.5	357
CMP-6(C-4)	C-6	4.5	7.5	1.9	20時間以上	1.8	255

（注）　1）塗膜物性試験に供する塗膜は、ジンクリッチ塗膜を除いたシステムで評価を実施した。
2）酸素透過係数の単位　：　cm^3（STP）$cm/cm^2sec\cdot cmHg$
3）透湿係数の単位　　：　$g\cdot cm/m^2\cdot 24h\cdot mmHg$

（2）便覧 D-4 対応塗装系

塗膜性能の評価結果を表－7.29 に示す。

CMP-1（D-4）は、基準である便覧 D-4 塗装系と比較して応力緩和能が低い傾向であった。

表－7.29　便覧 D-4 対応　塗膜性能

提案塗装系No.	試験板No.	酸素透過性	透湿度（水蒸気透過性）		塗膜物性		
					応力緩和	破断ひずみ	破断応力（最大点－応力）
		酸素透過係数 ($\times10^{-11}$)	透湿度 ($g/m^2\cdot24h$)	透過係数 ($\times10^{-3}$)	応力の半減期	最大伸び率(%)	(kgf/cm^2)
便覧D-4(基準)	便覧D-4	0.9	13.0	6.1	49分	6.95	378
CMP-1(D-4)	C-8	0.8	20.0	8.0	20時間以上	5.7	449

（注）　1）塗膜物性試験に供する塗膜は、ジンクリッチ塗膜を除いたシステムで評価を実施した。
2）酸素透過係数の単位　：　cm^3（STP）$cm/cm^2sec\cdot cmHg$
3）透湿係数の単位　　：　$g\cdot cm/m^2\cdot 24h\cdot mmHg$

７．３　まとめ

７．３．１　便覧 C-4 塗装系対応

表－7.30 に試験項目別に、基準となる C-4 塗装系と提案塗装系６種類との比較を示す。整理すると下記のことがいえる。

（１）CMP-1（C-4）は便覧 C-4 塗装系と比較して、防食性は同等で、耐候性は優れており、便覧 C-4 塗装系と同等のシステムとして置き換え可能と考えられる。

（２）CMP-3（C-4），CMP-4（C-4）は便覧 C-4 塗装系と比較して、防食性はカット部での劣化がやや大きい傾向にある。下塗膜厚が薄くなるに従い、カット部での劣化が大きい傾向にあるが、耐候性は優れている。

（３）CMP-5（C-4）は便覧 C-4 仕様と比較して、防食性は同等で、耐候性は優れていた。膜厚低減仕様である塗装系 CMP-5(C-4)を便覧 C-4 仕様と同等のシステムとして置き換えるには、防食性についての更なる見極めが必要と考えられる。

（４）CMP-6（C-4）は便覧 C-4 塗装系と比較して、防食性は同等で、耐候性は優れていた。膜厚低減，工程短縮仕様である塗装系 CMP-6（C-4）を便覧 C-4 塗装系と同等のシステムとして置き換えるには、防食性や施工性などについての更なる見極めが必要と考えられる。

（５）提案塗装系が全てジンクリッチペイントを併用していることもあり、屋外暴露試験３年では防食性と塗膜性能の明確な関係は得られていない。屋外暴露試験を継続し、この関係を明確にしていきたい。

表－7.30　便覧 C-4 対応塗装系　試験結果対比一覧表

項目				基準	提案塗装系No.					
				C-4	CMP-1 (C-4)	CMP-2 (C-4)	CMP-3 (C-4)	CMP-4 (C-4)	CMP-5 (C-4)	CMP-6 (C-4)
塗装系内訳	塗装回数			6	4	4	4	4	4	3
	塗装系（塗料品質）	厚膜ジンク		無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ
		下塗		ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	変性ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	変性ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	変性ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	変性ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	変性ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	ミストト塗兼用塗料
		中塗		ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	－	－	－	－	－	－
		上塗		ふっ素樹脂塗料	ふっ素樹脂塗料	ふっ素樹脂塗料	ふっ素樹脂塗料	ふっ素樹脂塗料	無機質系塗料	ふっ素樹脂塗料
	塗膜厚（μm）			250	250	213	188	163	230	225
	溶剤種別（下塗・中塗・上塗）			強溶剤	強溶剤	強溶剤	強溶剤	強溶剤	強溶剤	強溶剤
	コスト指数（削減率%）			100(-)	92(8)	87（13）	84(17)	81(19)	88(12)	92(8)
1	屋外ばくろ試験（沖縄　3年間）	塗膜外観	一般部	○	○	○	○	○	○	○
			カット部	○	○	○	△	△	○	○
		光沢保持率		○	◎	◎	◎	◎	◎	◎
		色差（△E^*_{ab}）		○	○	○	○	○	○	○
		付着性		○	△	△	△	△	△	△
		塗膜表面観察（機器）		○	○	○	○	○	○	○
		インピーダンス		○	○	○	○	○	○	○
		直流抵抗値		○	○	○	○	○	○	○
2	複合サイクル試験（土研式　250C/S）（JIS式　1000C/S）	塗膜外観	一般部	○	○	○	○	○	○	○
			カット部	○	○	○	○	○	○	○
		付着性		○	○	○	○	○	○	○
3	促進耐候性試験（キセノン 2000H）	光沢保持率		○	○	○	○	○	○	○
4	塗膜特性試験（厚膜ｼﾞﾝｸなし）	酸素透過性		○	△	－	－	△	△	△
		透湿度	水蒸気透過度	○	○	－	－	△	△	△
			透過係数	○	○	－	－	△	△	△
		塗膜物性	伸び	○	○	－	－	○	○	△
			強度	○	○	－	－	○	○	○
			応力緩和能	○	◎	－	－	○	○	○

（注）1）評価は基準となる便覧Ｃ－４塗装系と提案仕様との対比で表示。

（評価基準）

◎	○	△	×
優れる	同等	やや劣る	劣る

2）塗膜特性試験および直流抵抗値については便覧Ｃ－４塗装系のデータとの比較

７．３．２　便覧 D-4 塗装系対応

表－7.31 に試験項目別に、基準となる D-4 塗装系と提案塗装との比較を示す。

整理すると下記のことがいえる。

（1）CMP-1（D-4）は便覧 D-4 仕様と比較して、防食性はほぼ同等である。CMP-1（D-4）を便覧 D-4 仕様と同等のシステムとして置き換えるには防食性についての更なる見極めが必要と考える。

表－7.31　便覧 D-4 対応塗装系　試験結果対比一覧表

項目				基準	提案塗装系No.
				D-4	CMP-1（D-4）
塗装系内訳	塗装回数			2	1
	塗装系（塗料品質）	第１層目		変性ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	変性ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料
		第２層目		変性ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	―
	塗膜厚（μm）			240	200
	溶剤種別（下塗・中塗・上塗）			強溶剤	強溶剤
	コスト指数（削減率%）			100(-)	66(34)
1	屋外ばくろ試験（沖縄　３年間）	塗膜外観	一般部	○	○
			カット部	○	○
		光沢保持率		○	○
		色差（$\triangle E^*_{ab}$）		○	△
		付着性		○	○
		塗膜表面観察（機器）		○	○
		インピーダンス		○	○
		直流抵抗値		○	○
2	複合サイクル試験（土研式　250C/S）（JIS式　1000C/S）	塗膜外観	一般部	○	○
			カット部	○	○
		付着性		○	○
3	耐湿性試験（450日間）	塗膜外観		○	○
		付着性		○	○
4	塗膜特性試験（ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄなし）	酸素透過性		○	○
		透湿度	水蒸気透過度	○	△
			透過係数	○	○
		塗膜物性	伸び	○	○
			強度	○	○
			応力緩和能	○	×

（注）1）評価は基準となる便覧Ｄ－４塗装系と提案仕様との対比で表示。

（評価基準）	◎	○	△	×
	優れる	同等	やや劣る	劣る

2）塗膜特性試験および直流抵抗値については便覧Ｄ－４塗装系のデータとの比較

8．日本ペイント株式会社　提案塗装系と試験結果

8．1　提案塗装系

表－8.1 および表－8.2 に、便覧 C-4 塗装系対応、便覧 D-4 塗装系対応それぞれの日本ペイント(株)提案塗装系を示す。

表－8.1　便覧 C-4 塗装系対応（無機ジンク＋エポキシ＋ふっ素中塗・上塗）

提案塗装系 No.	試験板 No.	コンセプト	コスト指数	塗装系						
				第１層目	第２層目	第３層目	第４層目	第５層目	第6層目	合計膜厚（μm）
便覧C-4	K-C-4	－	100	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ（75μm）	ﾐｽﾄｺｰﾄ（－）	ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料下塗（60μm）	ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料下塗（60μm）	ふっ素樹脂塗料用中塗（30μm）	ふっ素樹脂塗料上塗（25μm）	250μm
NP-1 (C-4)	N-2	目標膜厚を目視で判定できる厚膜形エポキシ下塗りによる工程短縮	96 (4%減)	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ（75μm）	ﾐｽﾄｺｰﾄ（－）	省検査膜厚制御塗料（120μm）	ふっ素樹脂塗料用中塗（30μm）	ふっ素樹脂塗料上塗（25μm）	－	250μm
NP-2 (C-4)	N-7	高摩擦有機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄﾍﾟｲﾝﾄと、目標膜厚を目視で判定できる厚膜形エポキシ下塗りの組み合わせによる工程短縮	91 (8%減)	高摩擦有機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ（75μm）	省検査膜厚制御塗料（120μm）	ふっ素樹脂塗料用中塗（30μm）	ふっ素樹脂塗料上塗（25μm）	－	－	250μm

（注）コスト指数について（算出基準は共通編のコスト計算基準を参照のこと）

提案塗装系 №	試験板 №	コンセプト	コスト（円/㎡：材工（塗料＋シンナー＋塗装費）込み）							
			第１層目	第２層目	第３層目	第４層目	第５層目	第６層目	合計金額	ｺｽﾄ指数
便覧D-4（基準）	D-4	－	834	834	－	－	－	－	1668	100
NP-3　(D-4)	N-21	目標膜厚を目視で判定できる厚膜形エポキシ下塗りによる工程短縮	1547	－	－	－	－	－	1547	93

＊ミスコートについて
・ミストコート用の塗料は次項程に使用する塗料を１６０ｇ／㎡使用
・ミストコート用のシンナーはミストコートに用いる塗料用のシンナーを５０％希釈して使用
＊計算例〔ＫＰ－提案１（C-2）の第１層目〕
塗料代＋シンナー代＋塗装費
０．７kg／㎡×９５０円／kg＋０．７kg／㎡×５％×３５０円／kg＋３８６円／㎡＝１０６３円／㎡

表－8.2　便覧 D-4 塗装系対応（変性エポキシ樹脂塗料内面用）

提案塗装系 No.	試験板 No.	コンセプト	コスト指数	塗装系						
				第１層目	第２層目	第３層目	第４層目	第５層目	第6層目	合計膜厚（μm）
便覧D-4	便覧 D-4	－	100	変性エポキシ樹脂塗料（120μm）	変性エポキシ樹脂塗料（120μm）	－	－	－	－	240μm
NP-3 (D-4)	N-21	目標膜厚を目視で判定できる厚膜形エポキシ下塗りによる工程短縮	93 (7%減)	省検査膜厚制御塗料（240μm）	－	－	－	－	－	240μm

（注）コスト指数について（算出基準は共通編のコスト計算基準を参照のこと）

提案塗装系 №	試験板 №	コンセプト	コスト（円/㎡：材工（塗料＋シンナー＋塗装費）込み）							
			第１層目	第２層目	第３層目	第４層目	第５層目	第６層目	合計金額	ｺｽﾄ指数
便覧C-4（基準）	K-C-4	－	1063	568	685	685	605	983	4590	100
NP-1　(C-4)	N-2	目標膜厚を目視で判定できる厚膜形エポキシ下塗りによる工程短縮	1063	568	1198	605	983	－	4417	96
NP-2　(C-4)	N-7	高摩擦有機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄﾍﾟｲﾝﾄと、目標膜厚を目視で判定できる厚膜形エポキシ下塗りの組み合わせによる工程短縮	1413	1198	605	983	－	－	4199	91

８．２　試験結果

８．２．１ 屋外暴露試験

（1）塗膜外観および付着性

1）便覧 C-4 対応塗装系

塗膜外観観察および付着性評価結果を表－8.3(1)～表－8.3(2)に、記録写真（表面)を写－8.1 に示す。

下塗りに省検査膜厚制御塗料を用いた提案塗装系 NP-1（C-4）は、テープ付着試験でジンクリッチペイントからの凝集破壊がみられたが、引張り試験および塗膜外観は、基準となる便覧 C-4 塗装系と同等の性能を示した。

高摩擦有機ジンクリッチペイントを用いた提案塗装系 NP-2 (C-4) は、付着性は良好だが、カット部からの防食性がやや劣る傾向が見られた。

表－8.3(1)　便覧 C-4 対応　塗膜外観・付着性（沖縄）

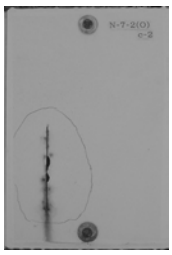
提案塗装系No.	試験板No	繰り返し数	塗板の表裏	塗膜外観観察						付着性試験			
				1年後		2年後		3年後		引張り付着強度		テープ付着（碁盤目）	
				一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	MPa	はくり箇所	残升目	はくり箇所
便覧C-4	K-C-4	1	表	○	0mm	○	0mm	○	0mm	5.0	接着剤100%	9/9	-
			裏	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
		2	表	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
			裏	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
NP-1 (C-4)	N-2	1	表	○	0mm	○	0mm	○	1mm	2.0	下塗80 ジンク20	3/9	ジンク
			裏	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
		2	表	○	0mm	○	0mm	○	1mm				
			裏	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
NP-2 (C-4)	N-7	1	表	○	16mm	○	35mm	○	45mm	3.2	接着剤35 ジンク65	9/9	-
			裏	○	0mm	○	0mm	○	2mm				
		2	表	○	14mm	○	37mm	○	45mm				
			裏	○	15mm	○	33mm	○	55mm				

○：異状なし

表－8.3(2)　便覧 C-4 対応　塗膜外観（つくば）

提案塗装系No.	試験板No	繰り返し数	塗板の表裏	塗膜外観観察			
				2年後		3年後	
				一般部	カット部	一般部	カット部
便覧C-4	K-C-4	1	表	○	0mm	○	0mm
			裏	○	0mm	○	0mm
		2	表	○	0mm	○	0mm
			裏	○	0mm	○	0mm
NP-1 (C-4)	N-2	1	表	○	2mm	○	2mm
			裏	○	2mm	○	2mm
		2	表	○	1mm	○	1mm
			裏	○	1mm	○	1mm
NP-2 (C-4)	N-7	1	表	○	3mm	○	4mm
			裏	○	3mm	○	3mm
		2	表	○	0mm	○	0mm
			裏	○	4mm	○	4mm

○：異状なし

	沖縄		つくば
	n=1	n=2	
便覧C-4 (K-C-4)			
NP-1 (C-4)			
NP-2 (C-4)			

写真－8.1　便覧 C-4 対応　記録写真（表面）

2）便覧 D-4 対応塗装系

塗膜外観観察および付着性評価結果を表－8.4(1)～表－8.4(2)に、記録写真（表面)を写真－8.2 に示す。

提案塗装系 NP-3（D-4）は、防食性、付着性共に、基準の便覧 D-4 と比較して同等以上の性能を示した。

表－8.4(1)　便覧 D-4 対応　塗膜外観・付着性（沖縄）

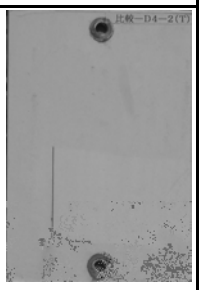
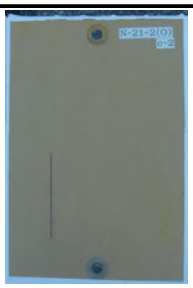
提案塗装系No.	試験板No	繰り返し数	塗板の表裏	塗膜外観観察						付着性試験			
				1年後		2年後		3年後		引張り付着強度		テープ付着（碁盤目）	
				一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	MPa	はくり箇所	残升目	はくり箇所
便覧D-4	便覧 D-4	1	表	○	0mm	○	1mm	○	10mm	5.0	接着剤100	9/9	－
			裏	○	0mm	○	5mm	○	3mm				
		2	表	○	0mm	○	0mm	○	10mm				
			裏	○	0mm	○	1mm	○	15mm				
NP-3 (D-4)	N-21	1	表	○	0mm	○	0mm	○	0mm	4.8	接着剤100	9/9	－
			裏	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
		2	表	○	0mm	○	0mm	○	0mm				
			裏	○	0mm	○	0mm	○	0mm				

○：異状なし

表－8.4(2)　便覧 D-4 対応　塗膜外観（つくば）

提案塗装系No.	試験板No	繰り返し数	塗板の表裏	塗膜外観観察			
				2年後		3年後	
				一般部	カット部	一般部	カット部
便覧D-4	便覧 D-4	1	表	○	0mm	○	0mm
			裏	○	0mm	○	0mm
		2	表	○	0mm	○	1mm
			裏	○	0mm	○	0mm
NP-3 (D-4)	N-21	1	表	○	0mm	○	0mm
			裏	○	0mm	○	0mm
		2	表	○	0mm	○	0mm
			裏	○	0mm	○	0mm

○：異状なし

	沖縄		つくば
	n=1	n=2	
便覧D-4			
NP-3 (D-4)			

写真－8.2　便覧 D-4 対応　記録写真（表面）

（2）光沢度

1）便覧 C-4 対応塗装系

光沢度（60°鏡面光沢度）の評価結果を表－8.5～表－8.6 と図－8.1～図－8.2 に示す。

提案塗装系 NP-1（C-4）および NP-2（C-4）は、同一の上塗り塗料である。

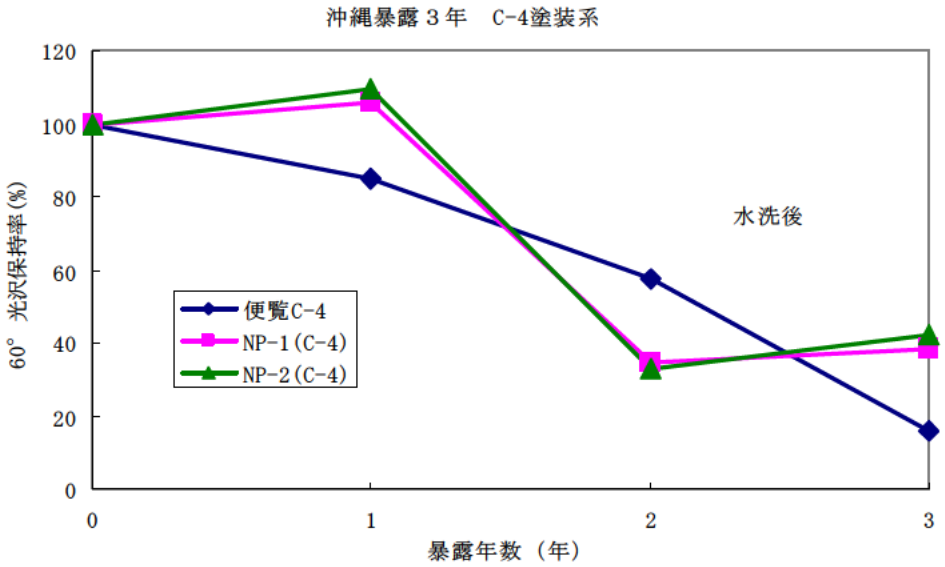
両提案塗装系共に、沖縄・つくば暴露において、基準となる便覧 C-4 仕様と比較して、同等以上の優れた暴露耐候性を示した。

表－8.5　便覧 C-4 対応　光沢度（沖縄）

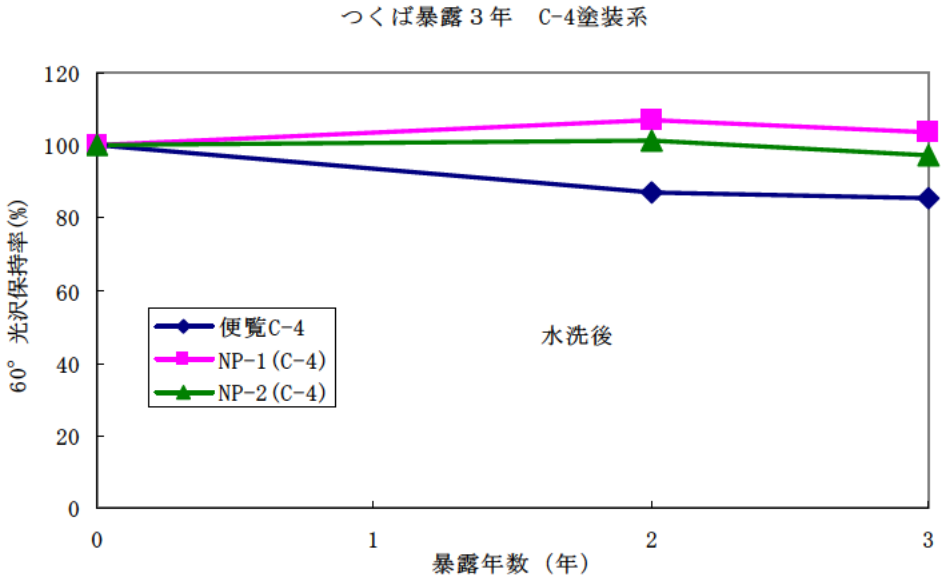
提案塗装系No.	試験板No.	表裏	初期値	沖縄暴露3年後			
				水洗前		水洗後	
				光沢度	保持率	光沢度	保持率
便覧C-4	K-C-4	表	75.3	17.0	21.9	11.5	15.9
			76.4	15.2		11.9	
			71.0	16.6		12.0	
		平均値	74.2	16.3		11.8	
		裏	80.1	72.5	84.2	71.1	90.3
			78.8	65.4		72.8	
			79.3	62.7		71.3	
		平均値	79.4	66.9		71.7	
NP-1 (C-4)	N-2	表	68.0	12.2	18.6	25.3	38.6
			66.9	12.6		25.5	
			67.5	12.8		27.4	
		平均値	67.5	12.5		26.1	
		裏	64.5	58.8	92.8	68.2	102.4
			65.4	61.3		65.1	
			65.0	60.8		66.3	
		平均値	65.0	60.3		66.5	
NP-2 (C-4)	N-7	表	64.6	10.0	16.9	27.1	42.4
			67.1	10.0		29.4	
			63.8	13.0		26.3	
		平均値	65.2	11.0		27.6	
		裏	66.6	68.3	101.4	61.1	99.0
			65.6	64.0		68.7	
			63.7	66.3		64.2	
		平均値	65.3	66.2		64.7	

表－8.6　便覧 C-4 対応　光沢度（つくば）

提案塗装系No.	試験板No.	表裏	初期値	つくば暴露3年後			
				水洗前		水洗後	
				光沢度	保持率	光沢度	保持率
便覧C-4	K-C-4	表	78.2	43.0	54.8	64.9	81.2
			75.8	41.2		61.0	
			74.6	41.0		59.7	
		平均値	76.2	41.7		61.9	
		裏	77.6	71.6	91.0	73.5	93.7
			80.0	73.0		76.1	
			79.4	71.1		72.5	
		平均値	79.0	71.9		74.0	
NP-1 (C-4)	N-2	表	67.0	44.8	69.4	70.3	102.0
			67.3	45.8		67.8	
			68.3	50.1		68.6	
		平均値	67.5	46.9		68.9	
		裏	62.5	66.9	103.5	71.1	109.5
			65.4	65.3		66.0	
			64.1	66.6		73.2	
		平均値	64.0	66.3		70.1	
NP-2 (C-4)	N-7	表	65.6	44.4	65.8	60.0	94.2
			66.0	39.3		63.5	
			65.9	46.3		62.5	
		平均値	65.8	43.3		62.0	
		裏	57.6	63.0	103.0	67.3	113.9
			61.4	62.7		71.7	
			65.6	64.5		71.2	
		平均値	61.5	63.4		70.1	



図―8.1　便覧 C-4 対応　光沢保持率（沖縄）



図－8.2　便覧 C-4 対応　光沢保持率（つくば）

２）便覧 D-4 対応塗装系

光沢度（６０°鏡面光沢度）の評価結果を表－8.7～表－8.8 と図－8.3～図－8.4 に示す。

提案塗装系 NP-3（D-4）は、基準となる便覧 D-4 塗装系と同じく、暴露３年での光沢低下が大きかった。

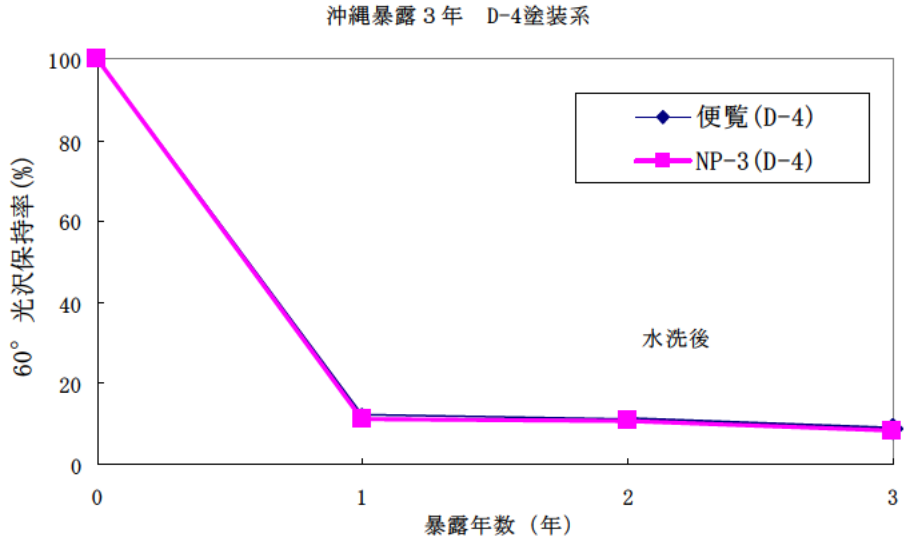
これは、エポキシ樹脂塗料の、表面劣化によるものと思われる。

表－8.7　便覧 C-4 対応　光沢度（沖縄）

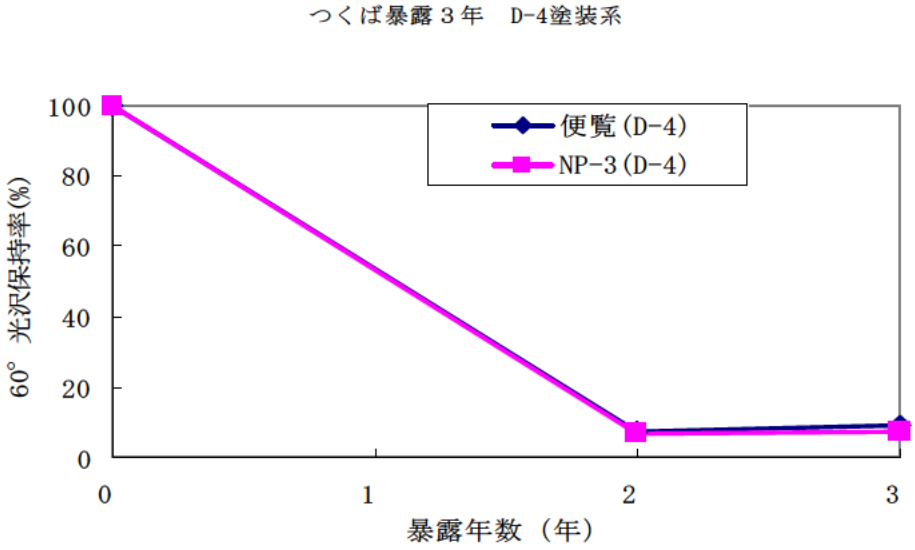
提案塗装系No.	試験板No.	表裏	初期値	沖縄暴露３年後			
				水洗前		水洗後	
				光沢度	保持率	光沢度	保持率
便覧D-4	便覧D4	表	25.4	2.0	7.8	2.2	8.9
			24.3	1.9		2.2	
			24.2	1.9		2.2	
		平均値	24.6	1.9		2.2	
		裏	23.5	3.7	14.7	4.7	19.0
			24.0	3.3		4.7	
			24.5	3.6		4.3	
		平均値	24.0	3.5		4.6	
NP-3 (D-4)	N-21	表	19.5	1.8	8.8	1.7	8.6
			19.6	1.7		1.7	
			20.3	1.7		1.7	
		平均値	19.8	1.7		1.7	
		裏	19.8	3.0	13.6	3.1	15.7
			20.5	2.7		3.2	
			21.4	2.7		3.4	
		平均値	20.6	2.8		3.2	

表－8.8　便覧 D-4 対応　光沢度（つくば）

提案塗装系No.	試験板No.	表裏	初期値	つくば暴露３年後			
				水洗前		水洗後	
				光沢度	保持率	光沢度	保持率
便覧D-4	便覧D4	表	31.6	1.4	4.9	2.1	7.5
			28.0	1.4		2.1	
			26.2	1.4		2.2	
		平均値	28.6	1.4		2.1	
		裏	17.3	3.1	16.1	8.0	40.4
			16.8	2.7		6.4	
			17.6	2.5		6.5	
		平均値	17.2	2.8		7.0	
NP-3 (D-4)	N-21	表	19.3	1.1	6.3	1.7	8.6
			19.9	1.2		1.7	
			19.1	1.4		1.6	
		平均値	19.4	1.2		1.7	
		裏	20.2	4.9	23.6	6.7	34.9
			20.6	4.8		7.1	
			19.7	4.6		7.3	
		平均値	20.2	4.8		7.0	



図－8.3　便覧 D-4 対応　光沢保持率（沖縄）



図－8.4　便覧 D-4 対応　光沢保持率（つくば）

（3）色差

1）便覧 C-4 対応塗装系

色差の評価結果を表－8.9～表－8.10 および図－8.5～図－8.6 に示す。

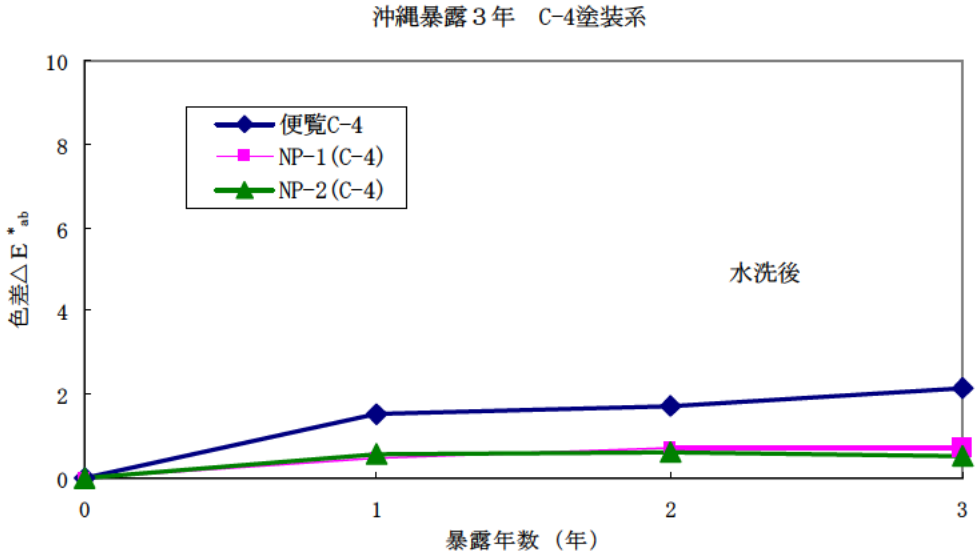
提案塗装系 NP-1（C-4)、提案塗装系 NP-2（C-4）共に、基準となる便覧 C-4 塗装系と同じく、良好な暴露耐候性を示した。

表－8.9　便覧 C-4 対応　色差（沖縄）

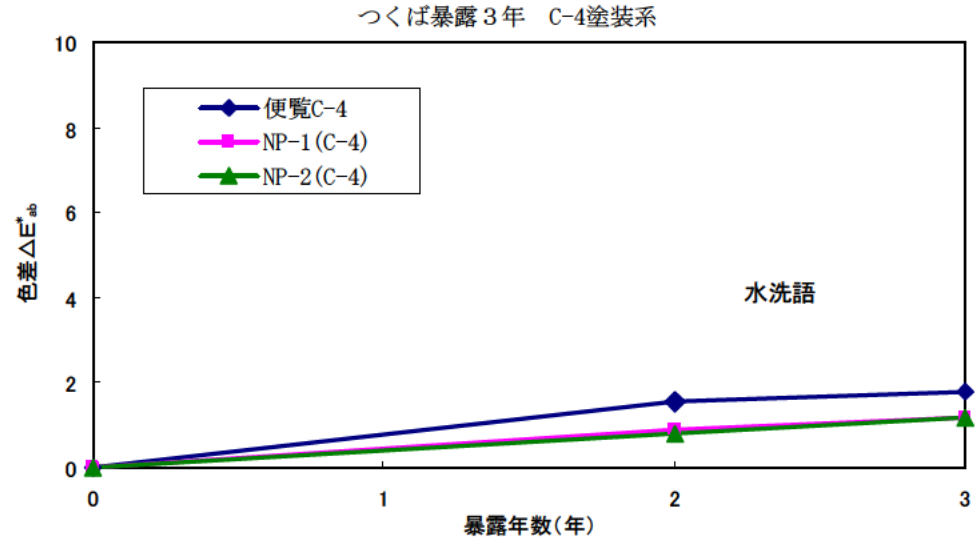
試験板No.	表裏	初期値			沖縄暴露３年後									
					水洗前					水洗後				
		L*	a*	b*	L*	a*	b*	△L*	$\triangle E^*_{ab}$	L*	a*	b*	△L*	$\triangle E^*_{ab}$
K-C-4	表	95.30	-0.30	1.03	93.38	-0.35	3.62	-1.91	3.20	94.43	-0.38	2.98	-0.89	2.16
		95.35	-0.29	1.04	93.45	-0.33	3.59			94.43	-0.44	3.01		
	平均値	95.33	-0.30	1.04	93.42	-0.34	3.61			94.43	-0.41	3.00		
	裏	95.72	-0.33	1.32	93.48	-0.38	2.90	-3.70	3.97	95.48	-0.40	2.49	-2.33	2.55
		95.75	-0.29	1.42	90.59	-0.58	2.70			91.34	-0.78	2.26		
	平均値	95.74	-0.31	1.37	92.04	-0.48	2.80			93.41	-0.59	2.38		
N-2	表	95.72	-0.70	0.10	94.24	-0.68	1.41	-1.13	1.79	95.46	-0.58	0.18	-0.47	0.74
		95.55	0.68	0.03	94.77	-0.61	1.19			94.88	-0.50	0.39		
	平均値	95.64	-0.01	0.07	94.51	-0.65	1.30			95.17	-0.54	0.29		
	裏	95.36	-0.69	0.00	94.94	-0.60	0.85	-2.40	2.46	93.00	-0.82	0.42	-1.85	1.88
		95.51	-0.76	0.21	91.14	-0.91	0.45			94.17	-0.57	0.46		
	平均値	95.44	-0.73	0.11	93.04	-0.76	0.65			93.59	-0.70	0.44		
N-7	表	95.51	-0.66	-0.08	94.08	-0.60	1.36	-1.15	1.47	95.47	-0.55	0.28	-0.31	0.51
		95.68	-0.66	0.03	94.81	-0.56	0.43			95.10	-0.57	0.46		
	平均値	95.60	-0.66	-0.03	94.45	-0.58	0.90			95.29	-0.56	0.37		
	裏	95.72	-0.68	0.03	95.40	-0.71	0.31	-0.24	0.34	96.02	-0.66	0.07	0.17	0.17
		95.82	-0.68	0.16	95.65	-0.69	0.35			95.85	-0.73	0.23		
	平均値	95.77	-0.68	0.10	95.53	-0.70	0.33			95.94	-0.70	0.15		

表－8.10　便覧 C-4 対応　色差（つくば）

提案塗装系No.	試験板No.	表裏	初期値			つくば暴露３年後									
						水洗前					水洗後				
			L*	a*	b*	L*	a*	b*	△L*	$\triangle E^*_{ab}$	L*	a*	b*	△L*	$\triangle E^*_{ab}$
便覧C-4	K-C-4	表	95.60	-0.36	1.56	89.23	-0.02	3.35	-6.43	6.68	93.51	-0.23	2.79	-2.00	2.30
			95.63	-0.36	1.53	89.13	-0.07	3.30			93.72	-0.24	2.55		
		平均値	95.62	-0.36	1.55	89.18	-0.05	3.33			93.62	-0.24	2.67		
		裏	94.45	-0.22	2.03	93.07	-0.28	3.09	-1.88	2.12	95.32	-0.40	2.38	0.11	0.41
			95.60	-0.26	1.92	93.23	-0.34	2.83			94.96	-0.41	2.29		
		平均値	95.03	-0.24	1.98	93.15	-0.31	2.96			95.14	-0.41	2.34		
NP-1 (C-4)	N-2	表	95.96	-0.61	0.61	90.98	-0.25	1.14	-4.86	4.92	94.85	-0.47	0.33	-0.91	0.94
			96.00	-0.62	0.50	91.26	-0.46	1.45			95.30	-0.53	0.33		
		平均値	95.98	-0.62	0.56	91.12	-0.36	1.30			95.08	-0.50	0.33		
		裏	96.11	-0.62	0.52	94.06	-0.54	0.76	-1.99	2.01	95.47	-0.60	0.28	-0.54	0.60
			95.97	-0.63	0.51	94.03	-0.53	0.77			95.52	-0.65	0.26		
		平均値	96.04	-0.63	0.52	94.05	-0.54	0.77			95.50	-0.63	0.27		
NP-2 (C-4)	N-7	表	95.98	-0.55	0.42	91.49	-0.34	0.87	-4.37	4.39	94.81	-0.53	0.26	-1.05	1.06
			96.07	-0.67	0.48	91.82	-0.35	0.79			95.14	-0.56	0.42		
		平均値	96.03	-0.61	0.45	91.66	-0.35	0.83			94.98	-0.55	0.34		
		裏	96.02	-0.69	0.52	93.36	-0.49	0.87	-2.23	2.25	95.82	-0.66	0.26	-0.36	0.49
			95.58	-0.69	0.59	93.78	-0.54	0.73			95.05	-0.63	0.21		
		平均値	95.80	-0.69	0.56	93.57	-0.52	0.80			95.44	-0.65	0.24		



図－8.5　便覧 C-4 対応　色差（沖縄）



図－8.6　便覧 C-4 対応　色差（つくば）

2）便覧 D-4 対応塗装系

色差の評価結果を表－8.11～表－8.12 と図－8.7～図－8.8 に示す。

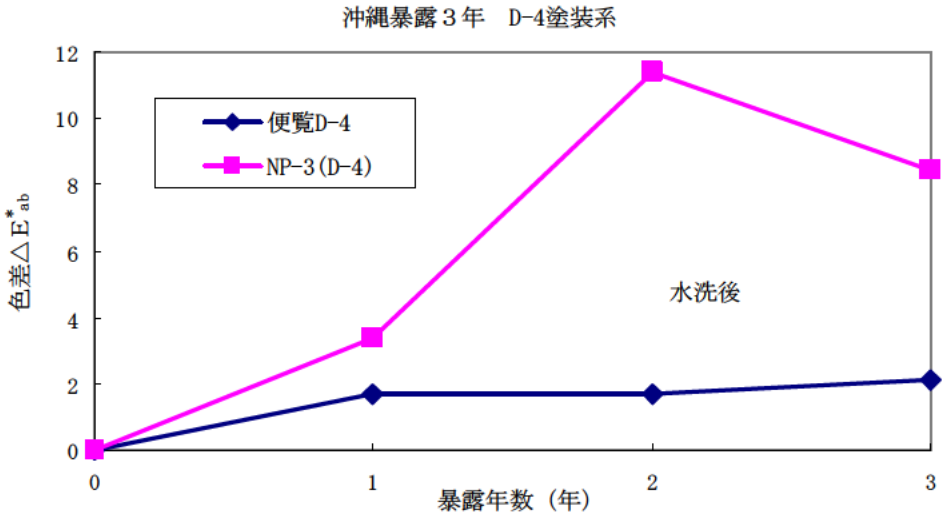
提案塗装系 NP-3（D-4）は、基準となる便覧 D-4 塗装系と比較して、やや色差が大きい傾向が見られた。

表－8.11　便覧 D-4 対応　色差（沖縄）

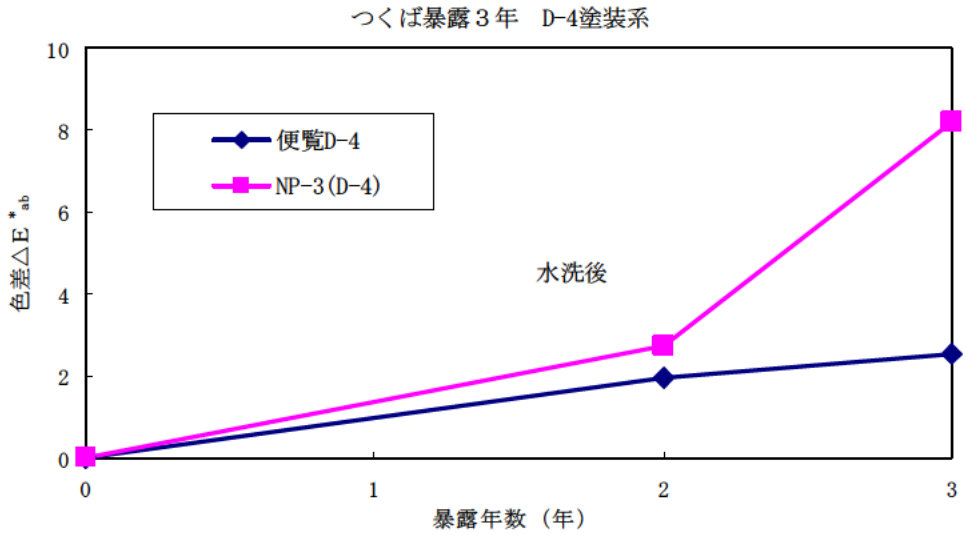
提案塗装系No.	試験板No.	表裏	初期値			沖縄暴露3年後									
						水洗前					水洗後				
			L*	a*	b*	L*	a*	b*	△L*	$\triangle E^*_{ab}$	L*	a*	b*	△L*	$\triangle E^*_{ab}$
便覧D-4	便覧D-4	表	94.91	-2.23	5.91	93.27	-0.74	4.56	-1.81	6.58	93.47	-0.87	5.37	-1.48	2.10
			94.84	-2.31	5.97	92.87	8.63	4.94			93.32	-0.85	5.51		
		平均値	94.88	-2.27	5.94	93.07	3.95	4.75			93.40	-0.86	5.44		
		裏	95.01	-2.17	5.97	92.17	-0.83	4.83	-3.05	3.42	93.69	-0.80	5.64	-1.97	2.44
			95.02	-2.17	5.92	91.77	-0.91	5.36			92.40	-1.02	4.87		
		平均値	95.02	-2.17	5.95	91.97	-0.87	5.10			93.05	-0.91	5.26		
NP-3 (D-4)	N-21	表	67.87	6.11	48.85	68.94	5.39	31.84	1.03	17.04	68.36	6.58	39.24	0.14	8.42
			68.03	6.26	48.94	69.02	5.47	31.97			67.83	6.67	41.73		
		平均値	67.95	6.19	48.90	68.98	5.43	31.91			68.10	6.63	40.49		
		裏	68.02	6.18	48.73	67.93	7.56	43.03	-1.03	6.56	66.94	7.69	43.80	-2.10	6.63
			68.00	6.28	49.16	66.03	7.47	42.16			64.89	7.39	41.79		
		平均値	68.01	6.23	48.95	66.98	7.52	42.60			65.92	7.54	42.80		

表－8.12　便覧 D-4 対応　色差（つくば）

提案塗装系No.	試験板No.	表裏	初期値			つくば暴露3年後									
						水洗前					水洗後				
			L*	a*	b*	L*	a*	b*	△L*	$\triangle E^*_{ab}$	L*	a*	b*	△L*	$\triangle E^*_{ab}$
便覧D-4	便覧D-4	表	95.30	-2.45	6.33	90.80	-0.65	4.37	-4.27	5.02	93.52	-1.02	5.67	-1.66	2.36
			95.28	-2.49	6.38	91.24	-0.69	4.49			93.74	-0.99	5.42		
		平均値	95.29	-2.47	6.36	91.02	-0.67	4.43			93.63	-1.01	5.55		
		裏	95.44	-2.29	5.94	92.02	-0.99	7.49	-3.33	3.85	94.05	-1.24	7.77	-1.32	2.40
			95.45	-2.12	5.95	92.20	-1.03	7.41			94.19	-1.26	7.64		
		平均値	95.45	-2.21	5.95	92.11	-1.01	7.45			94.12	-1.25	7.71		
NP-3 (D-4)	N-21	表	68.40	5.95	49.59	66.39	4.67	30.00	-1.25	19.21	67.81	6.50	41.33	-0.05	7.25
			68.07	5.90	49.42	67.58	4.87	30.75			68.57	6.66	43.24		
		平均値	68.24	5.93	49.51	66.99	4.77	30.38			68.19	6.58	42.29		
		裏	68.55	6.00	49.79	67.18	7.58	46.50	-1.16	3.72	67.81	7.74	47.61	-0.61	2.82
			68.32	5.92	49.69	67.36	7.58	46.69			67.84	7.79	47.71		
		平均値	68.44	5.96	49.74	67.27	7.58	46.60			67.83	7.77	47.66		



図－8.7　便覧 D-4 対応　色差（沖縄）



図－8.8　便覧 D-4 対応　色差（つくば）

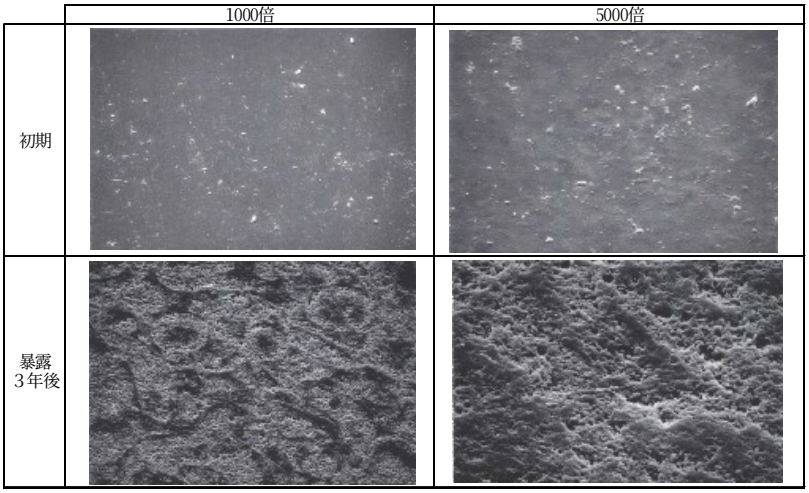
（４）塗膜表面観察

１）便覧 C-4（標準）（K-C-4）

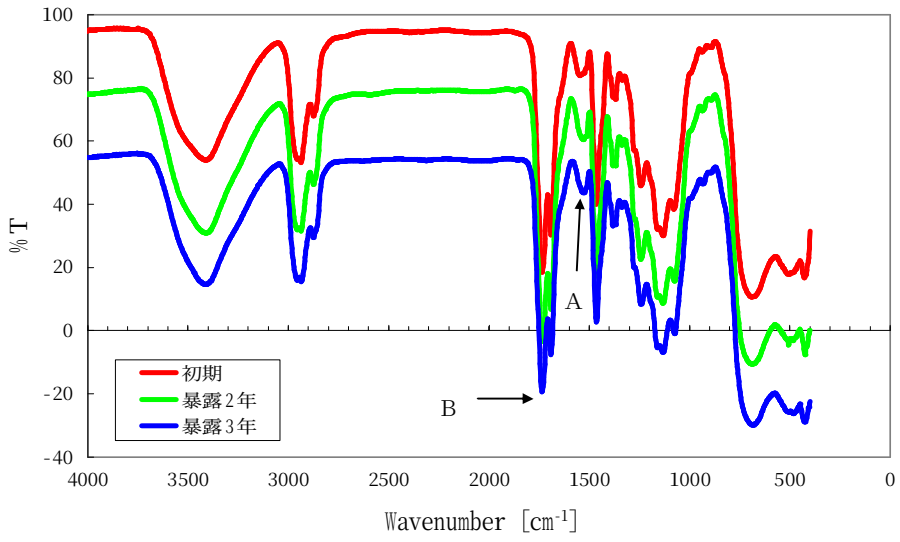
上塗り（ふっ素樹脂塗料上塗）塗膜の屋外暴露試験開始前と沖縄暴露試験３年後の表面状態を観察することで、塗膜の劣化状態の把握を行った。

写真－8.3 に SEM による表面観察写真を、図－8.9 に FT-IR による解析結果を示す。SEM 写真から、暴露３年で塗膜表面の樹脂層が劣化・消失し始めていることが確認できた。

またＩＲスペクトルから、樹脂劣化過程において変化が顕在化すると思われる特定吸収部位での吸光度比を算出したが、暴露試験３年でもほとんど変化は生じていなかった。



写真－8.3　SEM による表面観察写真



吸光度比	A/B
初期	0.08
暴露２年後	0.10
暴露３年後	0.08

A：1540cm^{-1}　ウレタン結合のC-N伸縮振動、N-H変角振動

B：1730cm^{-1}　エステルの C=O 伸縮振動

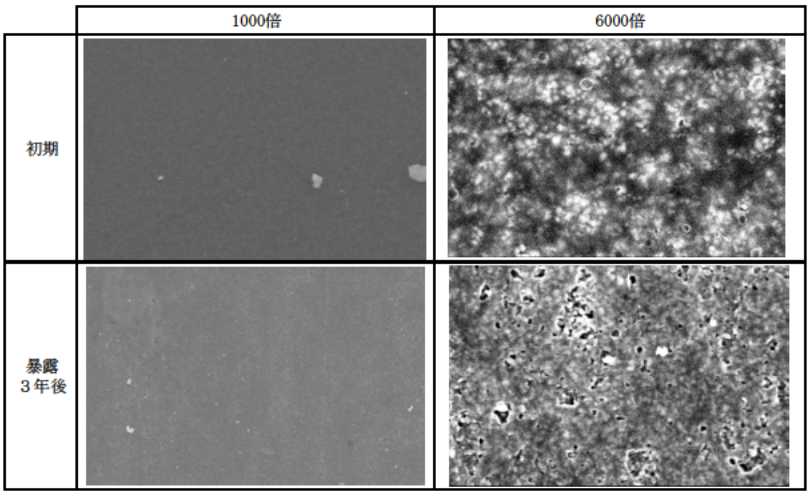
図－8.9　FT-IR による解析結果

２）ＮＰ提案塗装系－１ (N-2)

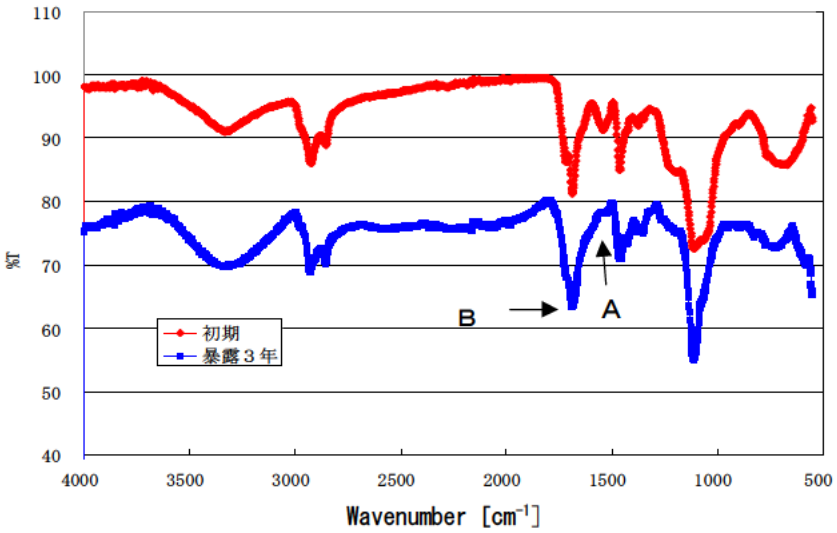
上塗り(ふっ素樹脂塗料上塗)塗膜の屋外暴露試験開始前と沖縄暴露試験３年後の表面状態を観察することで、塗膜の劣化状態の把握を行った。

写真－8.4 に SEM による表面観察写真を、図－8.10 に FT-IR による解析結果を示す。

SEM 写真から、暴露３年で塗膜表面の樹脂層が劣化・消失し始めていることが確認できた。またＩＲスペクトルから、暴露試験３年でウレタン結合がやや消失傾向にあることが確認された。



写真－8.4　SEM による表面観察写真



吸光度比	A/B
初期	0.37
暴露３年後	0.09

A：1540cm^{-1} ｳﾚﾀﾝ結合のC-N伸縮振動、N-H変角振動

B：1690cm^{-1} ｴｽﾃﾙのC=O伸縮振動

図－8.10　FT-IR による解析結果

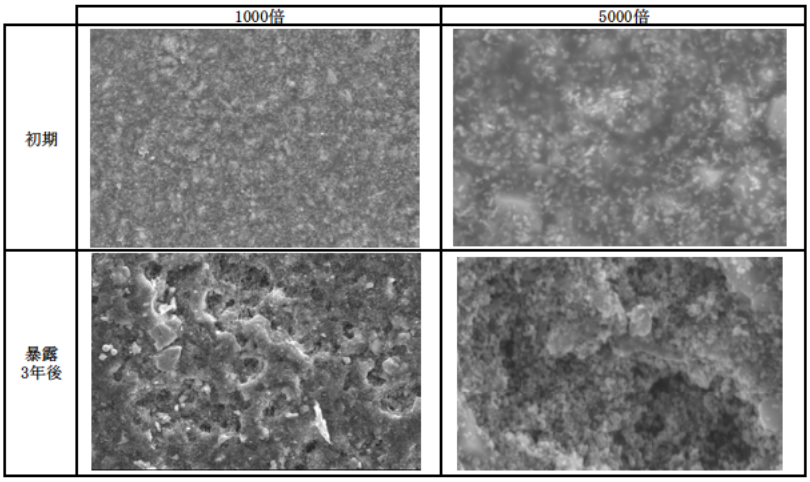
３）便覧 D-4（標準）（便覧 D-4）

エポキシ素樹脂塗膜の屋外暴露試験開始前と沖縄暴露試験３年後の表面状態を観察することで、塗膜の劣化状態の把握を行った。

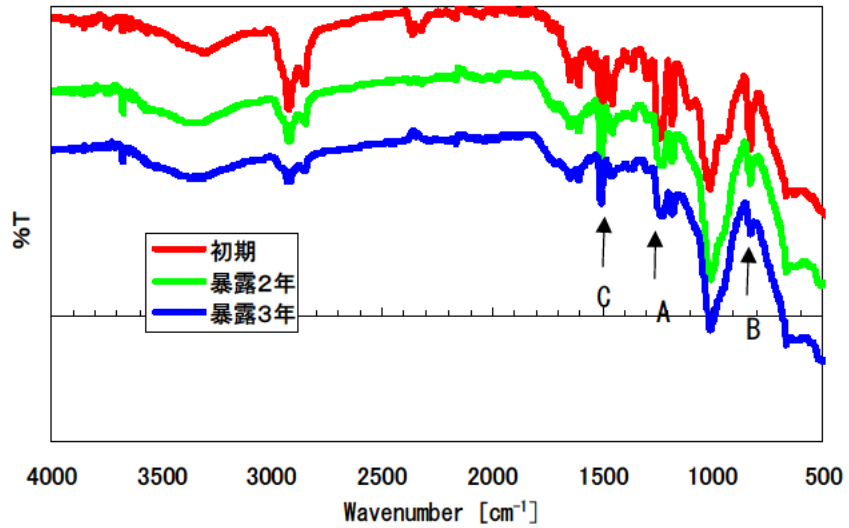
写真－8.5 に SEM による表面観察写真を、図－8.11 に FT-IR による解析結果を示す。

SEM 写真から、暴露３年で塗膜表面の樹脂層が劣化していることが確認できた。

またＩＲスペクトルから、暴露３年でエポキシ樹脂の特定吸収ピーク（ベンゼン核Ｃ＝Ｃ伸縮（1510cm^{-1}）、フェノールＣ－Ｏ伸縮（1250cm^{-1}））が消失している傾向があることがわかった。



写真－8.5　SEM による表面観察写真



吸光度比	A／C	B／C
初期	0.69	0.37
暴露２年後	0.62	0.60
暴露３年後	0.78	0.51

A：1250cm^{-1}　ﾌｪﾆﾙｰO伸縮運動（芳香族ｴｰﾃﾙ結合）
B：825cm^{-1}　ﾍﾞﾝｾﾞﾝ核の隣接水素２個（ﾊﾟﾗ置換）の面外変角振動
C：1510cm^{-1}　ﾍﾞﾝｾﾞﾝ核のC=C　伸縮振動

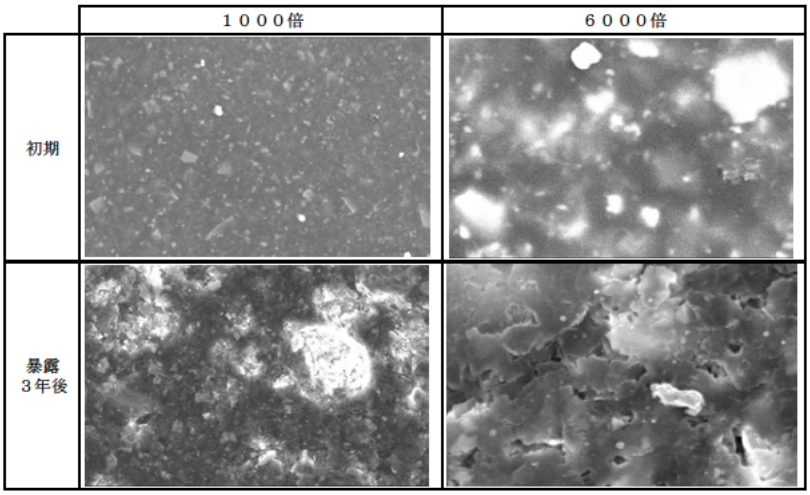
図－8.11　FT-IR による解析結果

4）ＮＰ提案塗装系－３（N-21）

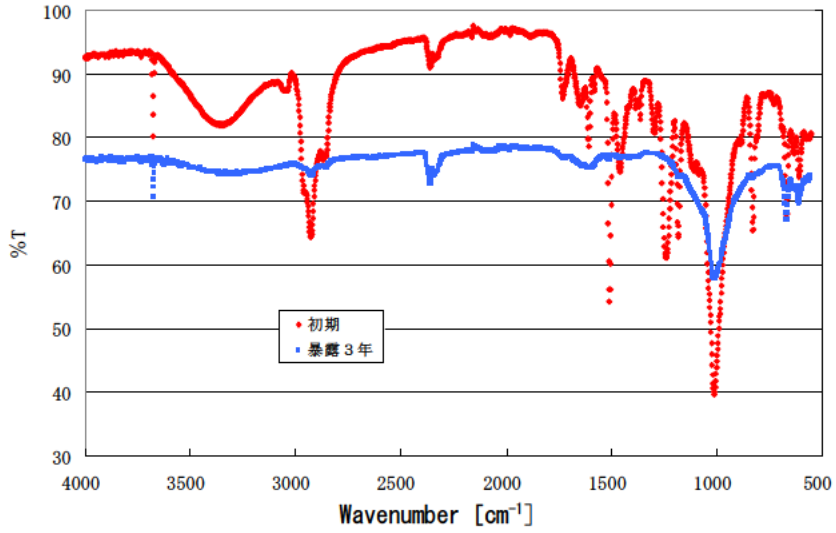
エポキシ素樹脂塗膜の屋外暴露試験開始前と沖縄暴露試験３年後の表面状態を観察することで、塗膜の劣化状態の把握を行った。

写真－8.6 に SEM による表面観察写真を、図－8.12 に FT-IR による解析結果を示す。

SEM 写真から、暴露３年で塗膜表面の樹脂層が劣化していることが確認できた。またＩＲスペクトルから、暴露３年でエポキシ樹脂の特定吸収ピーク（ベンゼン核Ｃ＝Ｃ伸縮（1510cm^{-1})、フェノールＣ－Ｏ伸縮（(1250cm^{-1})）が消失していることがわかった。



写真－8.6　SEM による表面観察



図－8.12　FT-IR による解析結果

（5）インピーダンス

1）便覧 C-4 対応塗装系

インピーダンスの測定結果を表－8.13 に示す。

提案塗装系 NP-1（C-4)、提案塗装系 NP-2（C-4）共に、基準となる便覧 C-4 塗装系と比較して、暴露によってｔａｎδがやや大きくなる傾向が見られた。

表－8.13　便覧 C-4 対応　インピーダンス測定結果

提案塗装系 No.	試験板 NO.	周波数 (kHz)	初期値			沖縄暴露３年		
			抵抗値 (kΩ)	静電容量 (nF)	tanδ	抵抗値 (kΩ)	静電容量 (nF)	tanδ
便覧C-4	K-C-4	0.2	14286	0.56	0.10	12500	0.43	0.15
		0.5	6667	0.53	0.09	7692	0.41	0.10
		1.0	4000	0.51	0.08	4762	0.39	0.09
		5.0	833	0.51	0.07	1613	0.39	0.05
NP-1 (C-4)	N-2	0.2	20000	0.46	0.09	3571	0.88	0.25
		0.5	10000	0.44	0.07	1961	0.77	0.21
		1.0	5556	0.43	0.07	1235	0.71	0.18
		5.0	1667	0.43	0.04	435	0.65	0.11
NP-2 (C-4)	N-7	0.2	12500	0.68	0.09	2632	1.10	0.27
		0.5	5000	0.64	0.10	1408	0.92	0.25
		1.0	2564	0.62	0.10	885	0.84	0.21
		5.0	526	0.57	0.11	303	0.71	0.15

2）便覧 D-4 対応塗装系

インピーダンスの測定結果を表－8.14 に示す。

提案塗装系 NP-3（D-4）と、便覧 D-4 塗装系に差は見られなかった。

表－8.14　便覧 D-4 対応　インピーダンス測定結果

提案塗装系 No.	試験板 NO.	周波数 (kHz)	初期値			沖縄暴露３年		
			抵抗値 (kΩ)	静電容量 (nF)	tanδ	抵抗値 (kΩ)	静電容量 (nF)	tanδ
便覧D-4	便覧D-4	0.2	16667	0.68	0.07	4762	0.92	0.18
		0.5	7143	0.66	0.07	2500	0.83	0.15
		1.0	4000	0.64	0.06	1538	0.78	0.13
		5.0	1000	0.63	0.05	508	0.73	0.09
NP-3 (D-4)	N-21	0.2	11111	0.65	0.11	7692	0.64	0.16
		0.5	5000	0.61	0.10	4000	0.59	0.13
		1.0	2632	0.58	0.10	2500	0.56	0.11
		5.0	833	0.55	0.07	870	0.54	0.07

（6）直流抵抗値

1）便覧 C-4 対応塗装系

直流抵抗値の測定結果を表－8.15 に示す。

各塗装系に大きな差はなく、高い抵抗値を示した。

表－8.15　便覧 C-4 対応　直流抵抗値測定結果

提案塗装系No.	試験板No.	直流抵抗値（Ω・ｃｍ）		
		初期	２年後	３年後
便覧C-4	K-C-4	1.5E+10	1.4E+10	4.5E+10
NP-1（C-4）	N-2	1.1E+11	6.1E+10	3.9E+10
NP-2（C-4）	N-7	3.8E+10	6.1E+09	1.4E+09

2）便覧 D-4 対応塗装系

直流抵抗値の測定結果を表－8.16 に示す。

各塗装系に大きな差はなく、高い抵抗値を示した。

表－8.16　便覧 D-4 対応　直流抵抗値測定結果

提案塗装系No.	試験板No.	直流抵抗値（Ω・ｃｍ）		
		初期	２年後	３年後
便覧D-4	便覧D-4	9.1E+09	2.2E+09	1.5E+09
NP-3（D-4）	N-21	2.2E+09	1.4E+10	7.9E+10

８．２．２　複合サイクル試験（CCT）

（１）便覧 C-4 対応塗装系

塗膜外観観察結果を表－8.17～表－8.18 に、写真－8.7 に土研式 250 サイクル後／ＪＩＳ式 1000 サイクル後に実施した付着性評価および記録写真（表面)を示す。

提案塗装系 NP-1（C-4）は基準となる便覧 C-4 塗装系と同等の性能を示したが、提案塗装系 NP-2（C-4）は、カット部の防食性がやや劣る傾向が見られた。

表－8.17　塗膜外観（土研式 CCT）

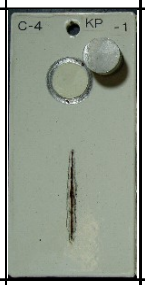
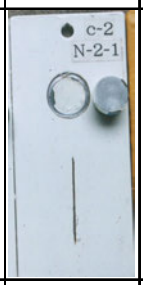
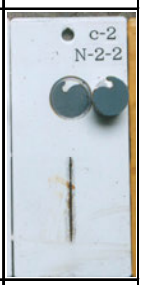
提案塗装系 No.	試験板 No.	10サイクル		30サイクル		50サイクル		100サイクル		150サイクル		200サイクル		250サイクル	
		一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部
便覧C-4	K-C-4	○	0mm	○	0mm	○	0mm	○	0mm	○	2mm	○	2mm	○	3mm
NP-1 (C-4)	N-2	○	0mm	○	0mm	○	0mm	○	0mm	○	0mm	○	0mm	○	0mm
NP-2 (C-4)	N-7	○	0mm	○	2mm	○	5mm	○	5mm	○	4mm	○	5mm	○	25mm

＊ ○…異状なし

表－8.18　塗膜外観（ＪＩＳ式 CCT）

提案塗装系 No.	試験板 No.	200サイクル		400サイクル		600サイクル		800サイクル		1000サイクル	
		一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部
便覧C-4	K-C-4	○	0mm	○	2mm	○	3mm	○	3mm	○	3mm
NP-1 (C-4)	N-2	○	2mm	○	4mm	○	4mm	○	4mm	○	4mm
NP-2 (C-4)	N-7	○	0mm	○	6mm	○	6mm	○	8mm	○	13mm

＊ ○…異状なし

塗装系№	土研式	ＪＩＳ式	塗装系№	土研式	ＪＩＳ式	塗装系№	土研式	ＪＩＳ式
便覧C-4 (基準)			NP-1 (C-4)			NP-2 (C-4)		
付着力 (MPa)	3.1	3.2	付着力 (MPa)	1.8	3.3	付着力 (MPa)	0.5	2.3
はく離箇所	接着剤100%	下塗80%、接着剤15%、ｼﾞﾝｸ5%	はく離箇所	接着剤100%	ジンク90% 接着剤10%	はく離箇所	ジンク100%	ジンク70% 接着剤20%

写真－8.7　付着性および記録写真

２）便覧 D-4 対応塗装系

塗膜外観観察結果を表－8.19～表－8.20 に、写真－8.8 に土研式 250 サイクル後／ＪＩＳ式 1000 サイクル後に実施した付着性評価および記録写真（表面）を示す。提案塗装系 NP-3（D-4）は基準となる便覧 D-4 塗装系と比較して一般部は同等だったが、カット部の防食性がやや劣る傾向が見られた。

表－8.19　塗膜外観（土研式 CCT）

提案塗装系 No.	試験板 No.	10サイクル		30サイクル		50サイクル		100サイクル		150サイクル		200サイクル		250サイクル	
		一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部
便覧D-4	便覧D-4	○	○	○	○	○	3mm	○	4mm	○	2mm	○	3mm	○	4mm
NP-3 (D-4)	N-21	○	○	○	1mm	○	4mm	○	4mm	○	3mm	○	4mm	○	11mm

○：異状なし

表－8.20　塗膜外観（ＪＩＳ式 CCT）

提案塗装系 No.	試験板 No.	200サイクル		400サイクル		600サイクル		800サイクル		1000サイクル	
		一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部	一般部	カット部
便覧D-4	便覧D-4	○	0mm	○	2mm	○	5mm	○	5mm	○	4mm
NP-3 (D-4)	N-21	○	3mm	○	5mm	○	5mm	○	5mm	○	8mm

○：異状なし

塗装系№	土研式	ＪＩＳ式	塗装系№	土研式	ＪＩＳ式
便覧D-4 (基準)			NP-3 (D-4)		
付着力 (MPa)	4.5	5.9	付着力 (MPa)	1.3	2.5
はく離箇所	接着剤100%	接着剤100%	はく離箇所	接着剤100%	接着剤100%

写真－8.8　付着性および記録写真

８．２．３　促進耐候性試験（キセノンランプ法）

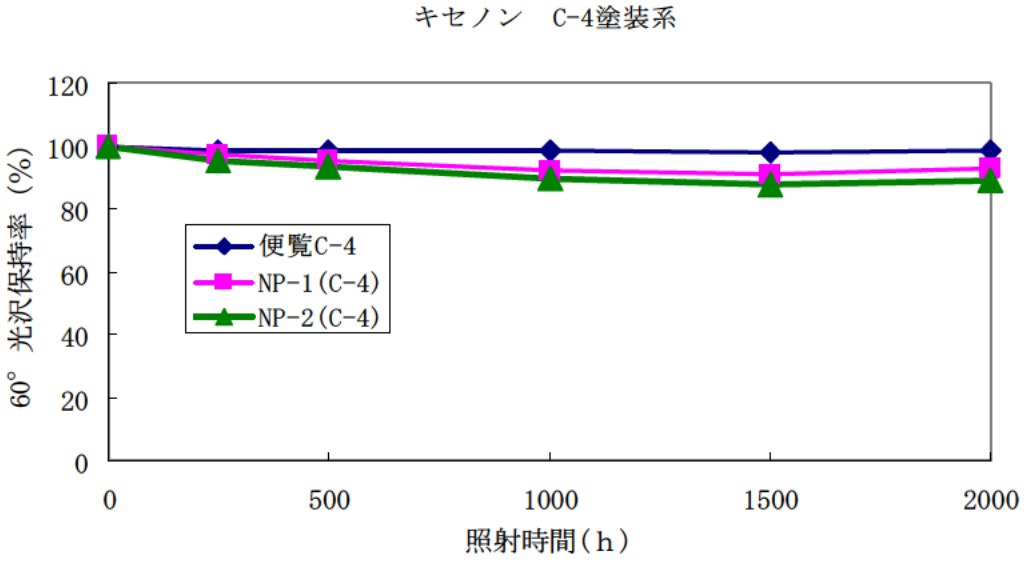
（１）便覧 C-4 対応塗装系

光沢度（60°鏡面光沢度）の評価結果を表－8.21 と図－8.13 に示す。

提案塗装系 NP-1（C-4）および NP-2（C-4）は、同一の上塗り塗料である。両提案塗装系共に、基準となる便覧 C-4 仕様と比較して、同等の優れた促進耐候性を示した。

表－8.21　便覧 C-4 対応　光沢度（キセノン照射）

提案塗装系No	試験板 No	測定点	照射時間（h）					
			初期値	250	500	1000.0	1500	2000
便覧C-4	K-C-4	1	81.0	80.3	79.9	79.9	79.5	80.2
		2	80.7	79.2	79.1	79.1	78.4	78.9
		平均	80.9	79.8	79.5	79.5	79.0	79.6
NP-1（C-4）	N-2	1	73.7	72.5	71.6	69.2	68.3	69.6
		2	76.4	73.2	71.7	69.4	68.1	69.4
		平均	75.1	72.9	71.7	69.3	68.2	69.5
NP-2(C-4)	N-7	1	76.4	72.8	71.3	68.7	68.1	69.2
		2	76.1	72.6	70.7	68.1	65.2	66.4
		平均	76.3	72.7	71.0	68.4	66.7	67.8



図－8.13　便覧 C-4 対応　光沢保持率（キセノン照射）

８．２．４　耐湿性試験

便覧 D-4 対応塗装系の湿潤試験 450 日後の外観結果を表－8.22 に、付着試験結果を写真－8.9 に示す。

両仕様共に、450 日後でも異状はなく、良好な結果だった。

表－8.22　塗膜外観観察結果

提案塗装系 No.	試験板No.	表裏	外観観察			
			50(日)	100(日)	250(日)	450(日)
便覧D-4	便覧 D-4	表	○	○	○	○
		裏	○	○	○	○
NP-3 (D-4)	N-21	表	○	○	○	○
		裏	○	○	○	○

○：異状なし

提案塗装系 №	便覧D-4	N-21
450日後 写真		
付着力(MPa)	4.5	6.5
はく離箇所	ジンク/下塗 100%	ジンク/下塗 40% 接着剤　60%

写真－8.9　付着試験結果および外観写真

８．２．５　塗膜性能試験

（１）便覧 C-4 対応塗装系

塗膜性能の評価結果を表－8.23 に示す。

提案塗装系 NP-1（C-4）および NP-2（C-4）は、基準となる便覧 C-4 仕様と比較して、酸素透過性がやや劣る傾向が見られたが、透湿度（水蒸気透過性）、応力緩和や破断応力については、同等の性能を示した。

表－8.23　便覧 C-4 対応　塗膜特性

提案塗装系№	試験板№	酸素透過性	水蒸気透過性		塗膜物性		
					応力緩和	破断ひずみ	破断応力（最大点－応力）
		酸素透過係数 ($\times10^{-11}$)	透湿度 ($g/m^2\cdot24h$)	透湿係数 ($\times10^{-3}$)	応力の半減期	最大伸び率(%)	（ｋｇｆ/cm^2）
便覧C-4（基準）	K-C-4	0.8	2.6	1.0	70時間以上	3.4	236
NP-1（C-4）	N-2	5.7	6.5	3.8	36分	4.4	257
NP-2（C-4）	N-7	3.2	3.1	2.2	1時間5分	4.1	260

（注）　１）塗膜物性試験に供する塗膜は、ジンクリッチ塗膜を除いたシステムで評価を実施した。
２）酸素透過係数の単位　：　cm^3（ＳＴＰ）cm/cm^2ｓｅｃ・ｃｍＨｇ
３）透湿係数の単位　　：　ｇ・cm/m^2・24ｈ・mmHg

（２）便覧 D-4 対応塗装系

塗膜性能の評価結果を表－8.24 に示す。

提案塗装系 NP-3（D-4）は、基準となる便覧 D-4 塗装系と比較して、酸素透過性がやや劣る傾向が見られたが、透湿度（水蒸気透過性）、応力緩和や破断応力については、ほぼ同等の性能を示した。

表－8.24　便覧 D-4 対応　塗膜特性

提案塗装系№	試験板№	酸素透過性	水蒸気透過性		塗膜物性		
					応力緩和	破断ひずみ	破断応力（最大点－応力）
		酸素透過係数 ($\times10^{-11}$)	透湿度 ($g/m^2\cdot24h$)	透湿係数 ($\times10^{-3}$)	応力の半減期	最大伸び率(%)	（ｋｇｆ/cm^2）
便覧D-4（基準）	便覧Ｄ４	0.9	13.0	6.1	49分	6.8	378
NP-3（D-4）	Ｎ－２１	12.3	13.7	12.1	1時間34分	4.9	280

（注）　１）塗膜物性試験に供する塗膜は、ジンクリッチ塗膜を除いたシステムで評価を実施した。
２）酸素透過係数の単位　：　cm^3（ＳＴＰ）cm/cm^2ｓｅｃ・ｃｍＨｇ
３）透湿係数の単位　　：　ｇ・cm/m^2・24ｈ・mmHg

８．３　まとめ

８．３．１　便覧 C-4 対応塗装系

表－8.25 に試験項目別に、基準となる C-4 塗装系と提案塗装系 NP-1（C-4)、提案塗装系 NP-2（C-4）の比較を示す。整理すると下記のことがいえる。

（１）提案塗装系 NP-1（C-4）は便覧 C-4 仕様と比較して、付着性がやや劣るものの、実用レベルでは問題ないものであり、また、防食性、耐候性は同等以上の性能を示しており、便覧 C-4 仕様と同等のシステムとして置き換え可能と考える。

（２）提案塗装系 NP-2（C-4）は、便覧 C-4 仕様と比較して、防食性でカット部での劣化が大きい傾向がある。便覧 C-4 仕様との置き換え可否については、この点をさらに見極める必要がある。

表－8.25　便覧 C-4 対応塗装系　試験結果対比一覧表

項目				基準	提案塗装系№	
				C-4	NP-1(C-4)	NP-2(C-4)
塗装系内訳	塗装回数			6	5	4
	塗装系（塗料品質）	厚膜ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ		無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	有機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ
		下塗		ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	厚膜ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	厚膜ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料
		中塗		ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料
		上塗		ふっ素樹脂塗料	ふっ素樹脂塗料	ふっ素樹脂塗料
	塗膜厚　（μm）			250	250	250
	溶剤種別　（下塗・中塗・上塗）			強溶剤	強溶剤	強溶剤
	コスト指数　（削減率%）			100　(-)	96　(4)	91　(9)
1	屋外暴露試験（沖縄　３年間）	塗膜外観	一般部	○	○	○
			ｶｯﾄ部	○	○	×
		光沢保持率		○	○	○
		色差（△E^*_{ab}）		○	○	○
		付着性		○	△	○
		塗膜表面観察（機器）		○	○	○
		インピーダンス		○	△	△
		直流抵抗値		○	○	○
2	複合サイクル試験（土研式 250サイクル)（ＪＩＳ式 1000サイクル）	塗膜外観	一般部	○	○	○
			ｶｯﾄ部	○	○	×
		付着性		○	○	△
3	促進耐候性試験（キセノン　2000H）	光沢保持率		○	○	○
4	塗膜特性試験（厚膜ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄなし）	酸素透過性		○	△	△
		透湿度（水蒸気透過度）		○	○	○
		塗膜物性	伸び	○	○	○
			強度	○	◎	◎
			応力緩和能	○	○	○

（注）　1）評価は基準となる便覧Ｃ－４塗装系と提案仕様との対比で表示。

（評価基準）

◎	○	△	×
優れる	同等	やや劣る	劣る

2）塗膜特性試験および直流抵抗値については便覧Ｃ-4塗装系のデータとの比較

８．３．２　便覧 D-4 対応塗装系

表－8.26 に試験項目別に、基準となる便覧 D-4 塗装系と提案塗装系 NP-3（D-4）との比較を示す。

現段階では、提案塗装系 NP-3（D-4）は便覧 D-4 仕様と比較して、防食性、付着性は同等で、耐候性（色差）はやや劣るものの、内面用仕様であることを考えると、便覧 D-4 仕様と同等のシステムとして置き換え可能と考える。

表－8.26　便覧 D-4 対応塗装系　試験結果対比一覧表

項目				基準	提案塗装系
				D-4	NP-3(D-4)
塗装系内訳	塗装回数			2	1
	塗装系（塗料品質）	厚膜ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ		－	－
		下塗		ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料
		中塗		－	－
		上塗		－	－
	塗膜厚　（μm）			240	240
	溶剤種別　（下塗・中塗・上塗）			強溶剤	強溶剤
	コスト指数　（削減率%）			100　(-)	93　(7)
1	屋外暴露試験（沖縄　３年間）	塗膜外観	一般部	○	○
			ｶｯﾄ部	○	◎
		光沢保持率		○	○
		色差（$\triangle E^*_{ab}$）		○	△
		付着性		○	○
		塗膜表面観察（機器）		○	○
		インピーダンス		○	○
		直流抵抗値		○	○
2	複合サイクル試験（土研式250サイクル）（ＪＩＳ式1000サイクル）	塗膜外観	一般部	○	○
			ｶｯﾄ部	○	△
		付着性		○	○
3	促進耐候性試験（キセノン2000H）	光沢保持率		－	－
4	塗膜特性試験（厚膜ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄなし）	酸素透過性		○	△
		透湿度（水蒸気透過度）		○	○
		塗膜物性	伸び	○	○
			強度	○	○
			応力緩和能	○	○

（注）　1）評価は基準となる便覧Ｄ－４塗装系と提案仕様との対比で表示。

（評価基準）

◎	○	△
優れる	同等	やや劣る

９．全体のまとめ

本共同研究を開始した平成 15 年４月当時の鋼橋の塗装は鋼道路橋塗装便覧(平成２年６月発行)に準拠していたが、平成 17 年 12 月に鋼道路橋塗装・防食便覧（以下、新便覧という）が発刊され、外面に適用される高耐候型塗装系からウレタン塗料仕上げシステム(C-2 塗装系)が削除され､ふっ素塗料仕上げシステム(C-4 塗装系)もエポキシ樹脂塗料 60μm/回の２回塗りが 120μm/回の１回塗りに変更された C-5 塗装系が新たに設定された。内面についても D-4 塗装系と仕様内容が同一の D-5 塗装系が新たに設定されたため、このことを考慮した形で全体のまとめを行った。

９．１　便覧 C-2 対応塗装系

表－9.1 に試験項目別に、基準となる C-2 塗装系と提案塗装系との比較を示しす。前述のように新便覧から C-2 塗装系は削除されたため、参考データとして取り扱う必要がある。整理すると下記のことがいえる。

（１）無機ジンクと組み合わせた提案塗装系（KP-1（C-2））は、便覧 C-2 塗装系と比較して、防食性は同等で、耐候性も優れており、便覧 C-2 塗装系と同等のシステムとして置き換え可能と考えられる。本提案塗装系の沖縄暴露試験３年後の耐候性はふっ素塗料仕上げシステム（C-4 塗装系）と同等以上の耐候性を呈しており、今後の試験結果によっては、将来組成規定がなくなり性能規定化が定着すれば、便覧 C-4 塗装系（新便覧 C-5 塗装系）の置き換えも可能と考えられる。

（２）高摩擦有機ジンクと組み合わせた提案塗装系（例えば、KP-2（C-2）や DNT-2（C-2））は､便覧 C-2 塗装系と比較して､耐候性は同等あるいは同等以上のレベルの品質もあるが、防食性はカット部での劣化がやや大きい傾向にある。高摩擦有機ジンクと組み合わせた提案塗装系を便覧 C-2 塗装系と同等のシステムとして置き換えるには、防食性についての更なる見極めが必要と考えられる。

（３）提案塗装系が全てジンクリッチペイントを併用していることもあり、屋外暴露試験３年では防食性と塗膜特性の明確な関係は得られていない。屋外暴露試験を継続し、この関係を明確にしていきたい。

表－9.1　便覧 C-2 対応塗装系　試験結果対比一覧

試料の内訳		項目		基準	提案塗装系№			
		提案塗装系№		C-2	KP-1(C-2)	KP-2(C-2)	DNT-1(C-2)	DNT-2(C-2)
		試験板№		D-C-2	K-3	K-6	D-2	D-5
塗装系内訳	塗装回数			6	4	3	3	5
	塗装系（塗料品質）	厚膜ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ		無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	高摩擦有機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	高摩擦有機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	高摩擦有機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ
		下塗		ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	厚膜ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	厚膜ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	厚膜ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	弱溶剤ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料
		中塗		ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	－	－	－	弱溶剤ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料
		上塗		ﾎﾟﾘｳﾚﾀﾝ樹脂塗料	中上兼用	中上兼用	厚膜ﾎﾟﾘｳﾚﾀﾝ樹脂塗料	弱溶剤ﾎﾟﾘｳﾚﾀﾝ樹脂塗料
	塗膜厚　（μm）			250	250	250	270	250
	溶剤種別	厚膜ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ		強溶剤	強溶剤	強溶剤	強溶剤	強溶剤
		下塗・中塗・上塗		強溶剤	強溶剤	強溶剤	強溶剤	弱溶剤
	コスト指数　（削減率%）			100　(-)	79　(21)	65　(35)	69　(31)	85　(15)
1	屋外暴露 試験（沖縄　3年間）	塗膜外観	一般部	○	○	○	○	○
			ｶｯﾄ部	0mm	0mm	5mm	8mm	4mm
		光沢保持率（%）		35.6	59.2	60.4	5.7	23.7
		色差（ΔE^*_{ab}）		1.51	1.22	0.56	2.31	1.37
		付着強度（MPa）		1.5	1.8	2.5	2.2	3.5
		塗膜表面観察（機器）注1）	電子顕微鏡観察	△	△	－	△	△
			IR(赤外分光分析)法	△	○	－	△	○
		インピーダンス（1kHz　tanδ）		0.12	0.09	0.12	0.16	0.19
		直流抵抗値（Ω）　注2）	2年後の測定値	－	6.67E+09	4.58E+09	6.51E+10	5.20E+07
			初期値との変化程度	－	○	○	△	○
2	複合サイクル試験（土研式　250サイクル）	塗膜外観	一般部	○	○	○	○	○
			ｶｯﾄ部	4mm	3mm	4mm	6mm	5mm
		付着強度（MPa）		2.1	3.2	2.8	1.5	1.5
	複合サイクル試験（ＪＩＳ式　1000サイクル）	塗膜外観	一般部	○	○	○	○	○
			ｶｯﾄ部	5mm	4mm	3mm	3mm	4mm
		付着強度（MPa）		2.0	3.0	3.0	1.5	1.5
3	促進耐候性試験（キセノン　2000h）	光沢保持率（%）		45.5	87.7	85.7	63.7	88.1
4	塗膜特性試験（厚膜ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄなし）	酸素透過係数（×１０$^{-11}$）		－	0.8		6.8	1.3
		透湿度（水蒸気透過度）		－	5.5		13.0	8.5
		透湿係数（×10^{-3}）		－	1.9		3.7	2.4
		塗膜物性	伸び（%）	－	3.7		6.0	3.7
			強度（kgf/cm^2）	－	334		266	290
			応力緩和能	－	70時間以上		19分	19分

（注）1）　塗膜表面観察：初期値（暴露試験前）と暴露試験３年間後の変化程度で評価
　　○：変化なし　　△：やや変化あり　　×：著しい変化あり

2）　直流抵抗値：初期値（暴露試験前）と暴露試験2年間後の測定値の変化程度で評価（表示数値は2年間供試後のﾃﾞｰﾀ）
　　○　：　桁低下なし（例えば、10-11→10-11以上）
　　△　：　やや変化なり（例えば、10-11→10-10など１桁低下）
　　×　：　著しい変化あり（例えば、10-11→10-9など２桁以上低下）

3）　塗膜外観（一般部）：○は異状なし

4）　酸素透過係数の単位：cm^3(STP)･cm/cm^2･sec･cmHg

5）　透湿度の単位：g/m^2･24h

6）　透湿係数の単位：g･cm/m^2･24h･mmHg

7）　応力緩和能は半減期を表示

９．２　便覧 C-4 対応塗装系

表－9.2 に試験項目別に、基準となる C-4 塗装系と提案塗装系との比較を示す。整理すると下記のことがいえる。

（１）無機ジンクと組み合わせた提案塗装系（例えば、KP-1（C-4）や CMP-1（C-4）など）は、便覧 C-4 塗装系と比較して、防食性は同等で、耐候性は優れており、便覧 C-4 塗装系（新便覧 C-5 塗装系）と同等のシステムとして置き換え可能と考えられる。

（２）合計塗膜厚を基準の 250μm 以下にしたシステム（163μm～213μm）での評価も進めているが、屋外暴露試験（沖縄）でカット部での劣化が僅かであるが大きい傾向にあり、更なる見極めが必要と考えられる。

（３）高摩擦有機ジンクと組み合わせた提案塗装系（例えば、KP-2（C-4）や DNT-2（C-4）は、便覧 C-4 塗装系と比較して、耐候性は同等以上のレベルの品質もあるが、防食性はカット部での劣化がやや大きい傾向にある。高摩擦有機ジンクと組み合わせた提案塗装系を便覧 C-4 塗装系（新便覧 C-5 塗装系）と同等のシステムとして置き換えるには、防食性についての更なる見極めが必要と考えられる。

なお、便覧 C-4 塗装系と比較して耐候性が同等以上のレベルの品質は、防食下地として無機ジンクと組み合わせれば、便覧 C-4 塗装系（新便覧 C-5 塗装系）と同等のシステムとして置き換え可能と考えられる。

（４）提案塗装系の中には、ふっ素塗料仕上げ以外のシステムで、沖縄暴露試験における耐候性がふっ素塗料仕上げシステム(便覧 C-4 塗装系)と同等レベルの品質もあり、今後の試験結果によっては便覧 C-4 塗装系（新便覧 C-5 塗装系）の置き換えも可能となる。

（５）提案塗装系が全てジンクリッチペイントを併用していることもあり、屋外暴露試験３年では防食性と塗膜特性の明確な関係は得られていない。暴露試験を継続し、この関係を明確にしていきたい。

表－9.2(1)　便覧 C-4 対応塗装系　試験結果対比一覧

試料の内訳		項目		基準	提案塗装仕様№			
		提案塗装系№		C-4	KP-1(C-4)	KP-2(C-4)	ST-1(C-4)	ST-2(C-4)
		試験板№		K-C-4	K-14	K-15	S-1	S-2
塗装系内訳	塗装回数			6	4	3	4	3
	塗装系（塗料品質）	厚膜ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ		無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	高摩擦有機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	高摩擦有機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ
		下塗		ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	厚膜ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	厚膜ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	低溶剤変性ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	低溶剤変性ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料
		中塗		ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	－	-	－	－
		上塗		ふっ素樹脂塗料	厚膜ふっ素樹脂塗料	厚膜ふっ素樹脂塗料	厚膜ｼﾘｺﾝｱｸﾘﾙ樹脂塗料	厚膜ｼﾘｺﾝｱｸﾘﾙ樹脂塗料
	塗膜厚　（μm）			250	250	250	255	285
	溶剤種別	厚膜ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ		強溶剤	弱溶剤	弱溶剤	強溶剤	強溶剤
		下塗・中塗・上塗		強溶剤	弱溶剤	弱溶剤	強溶剤	強溶剤
	コスト指数　（削減率%）			100　(-)	91　(9)	78　(22)	82　(18)	71　(29)
1	屋外暴露 試験（沖縄　３年間）	塗膜外観	一般部	○	○	○	○	○
			ｶｯﾄ部	0mm	0mm	2mm	1mm	1mm
		光沢保持率（%）		15.9	61.7	64.5	3.1	3.4
		色差（ΔE^*_{ab}）		2.16	2.21	2.31	0.93	0.76
		付着強度（MPa）		5.0	3.0	3.0	6.2	4.0
		塗膜表面観察（機器）注1）	電子顕微鏡観察	△	△	－	△	－
			IR(赤外分光分析)法	○	○	－	△	－
		インピーダンス（1kHz　tanδ）		0.09	0.11	0.09	0.10	0.09
		直流抵抗値（Ω）　注2）	2年後の測定値	1.44E+10	3.06E+11	1.36E+11	4.03E+10	2.37E+10
			初期値との変化程度	○	○	○	○	○
2	複合サイクル試験（土研式　250サイクル）	塗膜外観	一般部	○	○	○	○	○
			ｶｯﾄ部	3mm	4mm	5mm	2mm	16mm
		付着強度（MPa）		3.1	3.0	2.8	1.8	2.2
	複合サイクル試験（ＪＩＳ式　1000サイクル）	塗膜外観	一般部	○	○	○	○	○
			ｶｯﾄ部	3mm	3mm	4mm	4mm	5mm
		付着強度（MPa）		3.2	3.2	2.8	2.0	2.4
3	促進耐候性試験（キセノン　2000h）	光沢保持率（%）		98.4	94.0	96.7	87.5	88.8
4	塗膜特性試験（厚膜ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄなし）	酸素透過係数（$\times 10^{-11}$）		0.8	9.7		0.7	
		透湿度（水蒸気透過度）		2.6	11.3		3.3	
		透湿係数（$\times 10^{-3}$）		1.0	3.9		1.4	
		塗膜物性	伸び（%）	3.4	3.8		4.8	
			強度（kgf/cm^2）	236	190		307	
			応力緩和能	70時間以上	11秒		23分	

（注）1）　塗膜表面観察：初期値（暴露試験前）と暴露試験３年間後の変化程度で評価
　　○：変化なし　　△：やや変化あり　　×：著しい変化あり
　2）　直流抵抗値：初期値（暴露試験前）と暴露試験2年間後の測定値の変化程度で評価（表示数値は2年間供試後のﾃﾞｰﾀ）
　　○　：　桁低下なし（例えば、10-11→10-11以上）
　　△　：　やや変化なり（例えば、10-11→10-10など１桁低下）
　　×　：　著しい変化あり（例えば、10-11→10-9など２桁以上低下）
　3）　塗膜外観（一般部）：○は異状なし
　4）　酸素透過係数の単位：$cm^3(STP)\cdot cm/cm^2\cdot sec\cdot cmHg$
　5）　透湿度の単位：$g/m^2\cdot 24h$
　6）　透湿係数の単位：$g\cdot cm/m^2\cdot 24h\cdot mmHg$
　7）　応力緩和能は半減期を表示

表－9.2(2)　便覧 C-4 対応塗装系　試験結果対比一覧

試料の内訳		項目		基準	提案塗装系№			
		提案塗装系№		C-4	DNT-1(C-4)	DNT-2(C-4)	NP-1(C-4)	NP-2(C-4)
		試験板№		K-C-4	D-3	D-4	N-2	N-7
塗装系内訳	塗装回数			6	3	4	5	4
	塗装系（塗料品質）	厚膜ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ		無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	高摩擦有機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	高摩擦有機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	高摩擦有機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ
		下塗		ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	厚膜ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	厚膜ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	省検査形厚膜ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	省検査形厚膜ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料
		中塗		ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	―	高耐候ふっ素樹脂塗料	ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料
		上塗		ふっ素樹脂塗料	厚膜ふっ素樹脂塗料	高耐候ふっ素樹脂塗料	ふっ素樹脂塗料	ふっ素樹脂塗料
	塗膜厚　（μm）			250	270	250	250	250
	溶剤種別	厚膜ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ		強溶剤	強溶剤	強溶剤	強溶剤	強溶剤
		下塗・中塗・上塗		強溶剤	強溶剤	強溶剤	強溶剤	強溶剤
	コスト指数　（削減率%）			100　(-)	74　(26)	86　(14)	96　(4)	91　(9)
1	屋外暴露 試験（沖縄　３年間）	塗膜外観	一般部	○	○	○	○	○
			ｶｯﾄ部	0mm	1mm	3mm	1mm	45mm
		光沢保持率（%）		15.9	29.1	77.4	38.6	42.4
		色差（ΔE^*_{ab}）		2.16	2.18	1.38	0.74	0.51
		付着強度（MPa）		5.0	5.5	2.8	2.0	3.2
		塗膜表面観察(機器)注１）	電子顕微鏡観察	△	△	△	△	―
			IR(赤外分光分析)法	○	○	○	×	―
		インピーダンス（1kHz　tanδ）		0.09	0.11	0.11	0.18	0.21
		直流抵抗値（Ω）　注２）	2年後の測定値	1.44E+10	2.02E+10	5.63E+12	6.10E+10	6.10E+09
			初期値との変化程度	○	△	○	△	△
2	複合サイクル試験（土研式　250サイクル）	塗膜外観	一般部	○	○	○	○	○
			ｶｯﾄ部	3mm	8mm	8mm	0mm	25mm
		付着強度（MPa）		3.1	1.5	1.5	1.8	0.5
	複合サイクル試験（ＪＩＳ式　1000サイクル）	塗膜外観	一般部	○	○	○	○	○
			ｶｯﾄ部	3mm	5mm	5mm	4mm	13mm
		付着強度（MPa）		3.2	1.5	2.1	3.3	2.3
3	促進耐候性試験（キセノン　2000h）	光沢保持率（%）		98.4	65.1	98.6	92.5	88.9
4	塗膜特性試験（厚膜ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄなし）	酸素透過係数（×１０$^{-11}$）		0.8	1.1	1.9	5.7	3.2
		透湿度（水蒸気透過度）		2.6	6.0	3.8	6.5	3.1
		透湿係数（×10^{-3}）		1.0	1.2	1.1	3.8	2.2
		塗膜物性	伸び（%）	3.4	2.4	3.7	4.4	4.1
			強度（kgf/cm^2）	236	258	283	257	260
			応力緩和能	70時間以上	70時間以上	20時間以上	36分	65分

（注）１）　塗膜表面観察：初期値（暴露試験前）と暴露試験３年間後の変化程度で評価
　　○：変化なし　　△：やや変化あり　　×：著しい変化あり
　　２）　直流抵抗値：初期値（暴露試験前）と暴露試験2年間後の測定値の変化程度で評価（表示数値は2年間供試後のﾃﾞｰﾀ）
　　○　：　桁低下なし（例えば、10-11→10-11以上）
　　△　：　やや変化なり（例えば、10-11→10-10など１桁低下）
　　×　：　著しい変化あり（例えば、10-11→10-9など２桁以上低下）
　　３）　塗膜外観（一般部）：○は異状なし
　　４）　酸素透過係数の単位：cm^3(STP)･cm/cm^2･sec･cmHg
　　５）　透湿度の単位：g/m^2･24h
　　６）　透湿係数の単位：g･cm/m^2･24h･mmHg
　　７）　応力緩和能は半減期を表示

表－9.2(3)　便覧 C-4 対応塗装系　試験結果対比一覧

試料の内訳		項目		基準	提案塗装系№			
		提案塗装系№		C-4	CMP-1(C-4)	CMP-2(C-4)	CMP-3(C-4)	CMP-4(C-4)
		試験板№		K-C-4	C-1	C-2	C-3	C-4
塗装系内訳	塗装回数			6	4	4	4	4
	塗装系（塗料品質）	厚膜ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ		無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ
		下塗		ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	厚膜変性ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	変性ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	変性ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	変性ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料
		中塗		ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	－	－	－	－
		上塗		ふっ素樹脂塗料	厚膜ふっ素樹脂塗料	厚膜ふっ素樹脂塗料	厚膜ふっ素樹脂塗料	厚膜ふっ素樹脂塗料
	塗膜厚　（μm）			250	250	213	188	163
	溶剤種別	厚膜ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ		強溶剤	強溶剤	強溶剤	強溶剤	強溶剤
		下塗・中塗・上塗		強溶剤	強溶剤	強溶剤	強溶剤	強溶剤
	コスト指数　（削減率%）			100　(-)	92　(8)	87　(13)	84　(16)	81　(19)
1	屋外暴露 試験（沖縄　3年間）	塗膜外観	一般部	○	○	○	○	○
			ｶｯﾄ部	0mm	0mm	1mm	2mm	2mm
		光沢保持率（%）		15.9	56.2	64.7	56.8	61.0
		色差（ΔE^*_{ab}）		2.16	1.64	1.64	1.65	1.64
		付着強度（MPa）		5.0	1.8	1.5	2.8	2.8
		塗膜表面観察（機器）注1）	電子顕微鏡観察	△	△	－	－	－
			IR(赤外分光分析)法	○	○	－	－	－
		インピーダンス（1kHz　tanδ）		0.09	0.17	0.13	0.11	0.08
		直流抵抗値（Ω）　注2）	2年後の測定値	1.44E+10	6.21E+10	－	－	4.11E+10
			初期値との変化程度	○	△	－	－	△
2	複合サイクル試験（土研式　250サイクル）	塗膜外観	一般部	○	○	○	○	○
			ｶｯﾄ部	3mm	2mm	3mm	3mm	3mm
		付着強度（MPa）		3.1	3.3	3.5	5.0	4.8
	複合サイクル試験（ＪＩＳ式　1000サイクル）	塗膜外観	一般部	○	○	○	○	○
			ｶｯﾄ部	3mm	4mm	4mm	3mm	5mm
		付着強度（MPa）		3.2	3.8	3.5	3.8	3.5
3	促進耐候性試験（キセノン　2000h）	光沢保持率（%）		98.4	98.6	98.9	98.4	97.8
4	塗膜特性試験（厚膜ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄなし）	酸素透過係数（×１０$^{-11}$）		0.8	2.2	－	－	2.0
		透湿度（水蒸気透過度）		2.6	2.0	－	－	12.5
		透湿係数（×10^{-3}）		1.0	0.6	－	－	1.8
		塗膜物性	伸び（%）	3.4	4.1	－	－	2.6
			強度（kgf/cm^2）	236	376	－	－	374
			応力緩和能	70時間以上	17分	－	－	60時間以上

（注）1）　塗膜表面観察：初期値（暴露試験前）と暴露試験３年間後の変化程度で評価
　　○：変化なし　　△：やや変化あり　　×：著しい変化あり
　　2）　直流抵抗値：初期値（暴露試験前）と暴露試験2年間後の測定値の変化程度で評価（表示数値は2年間供試後のﾃﾞｰﾀ）
　　○　：　桁低下なし（例えば、10-11→10-11以上）
　　△　：　やや変化なり（例えば、10-11→10-10など１桁低下）
　　×　：　著しい変化あり（例えば、10-11→10-9など２桁以上低下）
　　3）　塗膜外観（一般部）：○は異状なし
　　4）　酸素透過係数の単位：cm^3(STP)･cm/cm^2･sec･cmHg
　　5）　透湿度の単位：g/m^2･24h
　　6）　透湿係数の単位：g･cm/m^2･24h･mmHg
　　7）　応力緩和能は半減期を表示

表－9.2(4)　便覧 C-4 対応塗装系　試験結果対比一覧

試料の内訳		項目		基準	提案塗装系№			
		提案塗装系№		C-4	CMP-5(C-4)	CMP-6(C-9)	NP-1(C-4)	NP-2(C-4)
		試験板№		K-C-4	C-5	C-6	N-2	N-7
塗装系内訳	塗装回数			6	4	3	5	4
	塗装系（塗料品質）	厚膜ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ		無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ	高摩擦有機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ
		下塗		ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	変性ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	ﾐｽﾄｺｰﾄ・下塗り兼用塗料	省検査形厚膜ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	省検査形厚膜ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料
		中塗		ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	－	－	ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料
		上塗		ふっ素樹脂塗料	無機質系塗料	厚膜ふっ素樹脂塗料	ふっ素樹脂塗料	ふっ素樹脂塗料
	塗膜厚　（μm）			250	230	225	250	250
	溶剤種別	厚膜ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄ		強溶剤	強溶剤	強溶剤	強溶剤	強溶剤
		下塗・中塗・上塗		強溶剤	強溶剤	強溶剤	強溶剤	強溶剤
	コスト指数　（削減率%）			100　(-)	88　(12)	92　(8)	96　(4)	91　(9)
1	屋外暴露 試験（沖縄　3年間）	塗膜外観	一般部	○	○	○	○	○
			ｶｯﾄ部	0mm	0mm	0mm	1mm	45mm
		光沢保持率（%）		15.9	84.3	34.0	38.6	42.4
		色差（ΔE^*_{ab}）		2.16	0.74	1.53	0.74	0.51
		付着強度（MPa）		5.0	1.8	2.0	2.0	3.2
		塗膜表面観察（機器）注1）	電子顕微鏡観察	△	△	－	△	－
			IR(赤外分光分析)法	○	○	－	×	－
		インピーダンス（1kHz　tanδ）		0.09	0.15	0.13	0.18	0.21
		直流抵抗値（Ω）　注2）	2年後の測定値	1.44E+10	1.45E+10	7.53E+10	6.10E+10	6.10E+09
			初期値との変化程度	○	△	△	△	△
2	複合サイクル試験（土研式　250サイクル）	塗膜外観	一般部	○	○	○	○	○
			ｶｯﾄ部	3mm	2mm	2mm	0mm	25mm
		付着強度（MPa）		3.1	3.3	2.8	1.8	0.5
	複合サイクル試験（ＪＩＳ式　1000サイクル）	塗膜外観	一般部	○	○	○	○	○
			ｶｯﾄ部	3mm	3mm	2mm	4mm	13mm
		付着強度（MPa）		3.2	3.0	4.8	3.3	2.3
3	促進耐候性試験（キセノン　2000h）	光沢保持率（%）		98.4	98.2	96.8	92.5	88.9
4	塗膜特性試験（厚膜ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄなし）	酸素透過係数（×１０$^{-11}$）		0.8	2.5	4.5	5.7	3.2
		透湿度（水蒸気透過度）		2.6	6.8	7.5	6.5	3.1
		透湿係数（×10^{-3}）		1.0	2.0	1.9	3.8	2.2
		塗膜物性	伸び（%）	3.4	3.5	1.8	4.4	4.1
			強度（kgf/cm^2）	236	357	255	257	260
			応力緩和能	70時間以上	60時間以上	20時間以上	36分	65分

（注）1）　塗膜表面観察：初期値（暴露試験前）と暴露試験３年間後の変化程度で評価
　　○：変化なし　　△：やや変化あり　　×：著しい変化あり
　　2）　直流抵抗値：初期値（暴露試験前）と暴露試験2年間後の測定値の変化程度で評価（表示数値は2年間供試後のﾃﾞｰﾀ）
　　○　：　桁低下なし（例えば、10-11→10-11以上）
　　△　：　やや変化なり（例えば、10-11→10-10など１桁低下）
　　×　：　著しい変化あり（例えば、10-11→10-9など２桁以上低下）
　　3）　塗膜外観（一般部）：○は異状なし
　　4）　酸素透過係数の単位：cm^3(STP)・cm/cm^2・sec・cmHg
　　5）　透湿度の単位：g/m^2・24h
　　6）　透湿係数の単位：g・cm/m^2・24h・mmHg
　　7）　応力緩和能は半減期を表示

９．３　便覧 D-4 対応塗装系

表－9.3 に試験項目別に、基準となる D-4 塗装系と提案塗装系との比較を示す。

整理すると下記のことがいえる。

（１）厚膜型変性エポキシ１回塗りにした提案塗装系（CMP-1（D-4）と NP-1（D-4））は、便覧 D-4 仕様と比較して防食性は同等で、便覧 D-4 塗装系（新便覧 D-5 塗装系）と同等のシステムとして置き換え可能と考えられる。

（２）NP-1（D-4）について、屋外暴露経時でΔＥが大きくなっているが、これは今回供試した色合いが濃彩（黄土色）であったためと思われる。なお、他のシステムは淡彩（グレー）である。

表－9.3　便覧 D-4 対応塗装系　試験結果対比一覧

試料の内訳		項目		基準	提案塗装系№	
		提案塗装系№		D-4	CMP-1(D-4)	NP-1(D-4)
		試験板№		C-D-4	C-8	N-21
塗装系内訳	塗装回数			2	1	1
	塗装系（塗料品質）	（ｼｮｯﾌﾟﾌﾟﾗｲﾏｰ）		（無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾌﾟﾗｲﾏｰ）	（無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾌﾟﾗｲﾏｰ）	（無機ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾌﾟﾗｲﾏｰ）
		第１層目		変性ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	厚膜変性ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	省検査形厚膜ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料
		第2層目		変性ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料	－	－
	塗膜厚　（μｍ）			240	200	240
	溶剤種別　（下塗・中塗・上塗）			強溶剤	強溶剤	強溶剤
	コスト指数　（削減率％）			100　（-）	66　（34）	93　（7）
1	屋外暴露 試験（沖縄　３年間）	塗膜外観	一般部	○	○	○
			ｶｯﾄ部	10mm	13mm	0mm
		光沢保持率（％）		8.9	7.7	8.6
		色差（ΔE^*_{ab}）		2.1	3.1	8.42
		付着強度（MPa）		5.0	7.0以上	4.8
		塗膜表面観察（機器）注１）	電子顕微鏡観察	×	×	×
			IR(赤外分光分析)法	×	×	×
		インピーダンス（1kHz　tanδ）		0.13	0.15	0.11
		直流抵抗値（Ω）　注２）	2年後の測定値	2.20E+09	1.09E+09	1.40E+10
			初期値との変化程度	○	△	○
2	複合サイクル試験（土研式　250サイクル）	塗膜外観	一般部	○	○	○
			ｶｯﾄ部	4mm	5mm	11mm
		付着強度（MPa）		4.5	5.0	1.3
	複合サイクル試験（ＪＩＳ式　1000サイクル）	塗膜外観	一般部	○	○	○
			ｶｯﾄ部	6mm	7mm	8mm
		付着強度（MPa）		5.0	5.2	2.5
3	耐湿性試験　（450日間）	塗膜外観		○	○	○
		付着強度（MPa）		4.5	4.5	6.5
4	塗膜特性試験（厚膜ｼﾞﾝｸﾘｯﾁﾍﾟｲﾝﾄなし）	酸素透過係数（×１０$^{-11}$）		0.9	0.8	12.3
		透湿度（水蒸気透過度）		13.0	20.0	13.7
		透湿係数（×10^{-3}）		6.1	8.0	12.1
		塗膜物性	伸び（％）	7.0	5.7	4.9
			強度（kgf/cm^2）	378	449	280
			応力緩和能	49分	20時間以上	1時間34分

（注）１）　塗膜表面観察：初期値（暴露試験前）と暴露試験３年間後の変化程度で評価
　　○：変化なし　　△：やや変化あり　　×：著しい変化あり
　　２）　直流抵抗値：初期値（暴露試験前）と暴露試験2年間後の測定値の変化程度で評価（表示数値は2年間供試後
　　○　：　桁低下なし（例えば、10-11→10-11以上）
　　△　：　やや変化なり（例えば、10-11→10-10など１桁低下）
　　×　：　著しい変化あり（例えば、10-11→10-9など２桁以上低下）
　　３）　塗膜外観（一般部）：○は異状なし
　　４）　酸素透過係数の単位：cm^3(STP)･cm/cm^2･sec･cmHg
　　５）　透湿度の単位：g/m^2･24h
　　６）　透湿係数の単位：g･cm/m^2･24h･mmHg
　　７）　応力緩和能は半減期を表示

９．４　塗膜の酸素透過係数、透湿係数、応力緩和能と防食性の関係調査

提案塗装系が全てジンクリッチペイントを併用していることもあり、屋外暴露試験３年では防食性と塗膜特性の明確な関係は得られていない。

屋外暴露試験を継続しこの関係を明確にしていく予定であるが、同時並行して、塗り替え塗装を想定した便覧 c-3 対応塗装系（エポキシとふっ素を組み合わせた塗装系でジンクリッチペイントを併用していない）の試験も一部実施している。(供試塗装系、屋外暴露試験結果(防食性)、塗膜特性に関する内訳・データは表－9.4、表－9.5 および表－9.6 を参照のこと)

表－9.4　塗り替え塗装を想定した便覧 c-3 対応塗装系

提案塗装系 No.	試験板№	塗装系 第1層目	第2層目	第3層目	第4層目	第5層目	合計膜厚（μm）
(塗り替え仕様　3種ケレン)							
便覧c-3(基準)	K-c-3-3種	ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料下塗(60μm)	ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料下塗(60μm)	ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料下塗(60μm)	ふっ素樹脂塗料用中塗(30μm)	ふっ素樹脂塗料上塗(25μm)	235
K-13		弱溶剤系ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料下塗(60μm)	弱溶剤系ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料下塗(60μm)	弱溶剤系ｴﾎﾟｷｼ樹脂塗料下塗(60μm)	弱溶剤系ふっ素樹脂用塗料中塗(30μm)	弱溶剤系ふっ素樹脂塗料上塗A(25μm)	235

表－9.5　屋外暴露試験結果(防食性)

提案塗装系 No.	試験板№	繰返し数	塗板の表裏	塗膜外観観察（3年後） 沖縄 一般部	沖縄 カット部	つくば 一般部	つくば カット部
便覧c-3(基準)	K-c-3 3種	1	表	OK	40mm	OK	10mm
			裏	OK	30mm	OK	7mm
		2	表	OK	30mm	OK	16mm
			裏	OK	45mm	OK	15mm
K－13		1	表	OK	20mm	OK	3mm
			裏	OK	30mm	OK	2mm
		2	表	OK	15mm	OK	2mm
			裏	OK	20mm	OK	1mm

表－9.6　便覧 c-3 対応塗装系　塗膜特性

提案塗装系 No.	試験板№	酸素透過性	水蒸気透過性		塗膜物性		
					応力緩和	破断ひずみ	破断応力(最大点－応力)
		酸素透過係数 ($\times10^{-11}$)	透湿度 ($g/m^2\cdot24h$)	透湿係数 ($\times10^{-3}$)	応力の半減期	最大伸び率(%)	(kgf/cm^2)
便覧c-3(基準) 強溶剤ｴﾎﾟｷｼ/ふっ素	K-c-3-3種	0.80	2.6	1.0	70時間以上	3.4	236
弱溶剤ふっ素仕様 (ｴﾎﾟｷｼ/ふっ素)	K－13	11.00	9.0	3.1	34秒	4.5	171

(注)　1) 塗膜物性試験に供する塗膜は、ジンクﾘｯﾁ塗膜を除いたシステムで評価を実施した。
2) 酸素透過係数の単位　：　$cm^3(STP)\,cm/cm^2sec\cdot cmHg$
3) 透湿係数の単位　　：　$g\cdot cm/m^2\cdot24h\cdot mmHg$

この結果では、強溶剤形塗装系(K-c-3-３種)と比較して、弱溶剤形塗装系（K-13）は酸素透過性や透湿度(水蒸気透過度)などの環境遮断機能がやや低い反面、応力緩和能は逆に高いことが確認できたが、弱溶剤形塗装系は強溶剤形塗装系よりカット部での劣化が遅い傾向にあり、防食性はむしろ良好であった。

これはある一定レベルの環境遮断機能を有している塗膜であれば応力緩和能が高い塗膜の方が防食性は安定していることを示唆していると考えられる。

このことは奥ら[1)]が検討した以下の実験結果でも実証できている。

塗料の顔料濃度（顔料種はチタン白）を 80phr に調整した溶剤型２液エポキシ（含む変性エポキシ）６試料を磨軟鋼板に乾燥塗膜厚が 60μm になるように塗布し、海浜地区にて屋外暴露試験を 24ヶ月間実施した。その時の塗膜の環境遮断機能特性(酸素透過係数、透湿係数)および塗膜の応力緩和能特性と防食性(カット部からのクリープ幅)の関係を図-9.1～図-9.3に示す。

今回の検討範囲(溶剤型２液エポキシ単独膜、塗膜厚 60μm、磨軟鋼板)では、酸素透過係数や透湿係数と防食性の相関係数は低い値であった。

一方、塗膜の応力緩和能特性は防食性と高い相関関係にあった。すなわち、ある一定以上の環境遮断機能特性を有する塗膜であれば、応力緩和能が高い塗膜の方が防食性は安定していることが分かる。

なお、酸素透過量や透湿量と防食性の関係でなく、塗膜厚を要因に組み入れた酸素透過係数および透湿係数と防食性の関係を調べた理由は以下による。

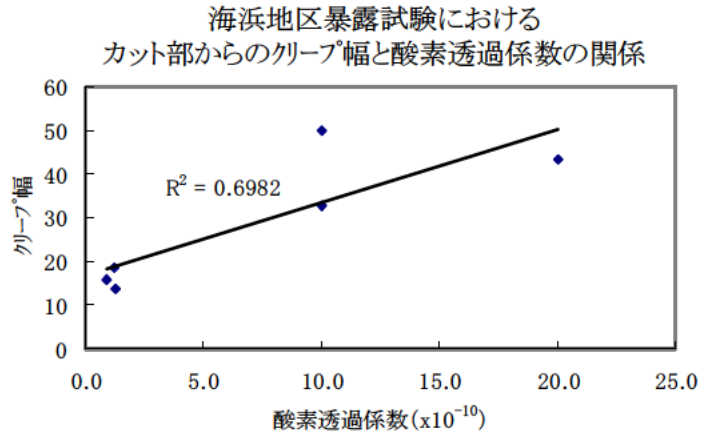
G.Menges らが提案している下式[3)]では、塗膜の耐用年数は塗膜厚の二乗に比例することを表しており、一般に塗膜厚が厚くなる程、透湿量(水蒸気透過量)や酸素透過量も小さくなり環境遮断機能特性も高くなることが分かっていることから､塗膜厚を加味することにした。透湿量(度)と透湿係数の関係は次の通りである。

透湿係数(g・cm/㎡・24h・mmHg)＝透湿度(g/㎡・24h)×塗膜厚(μm)×10^{-4}/55.324mmHg

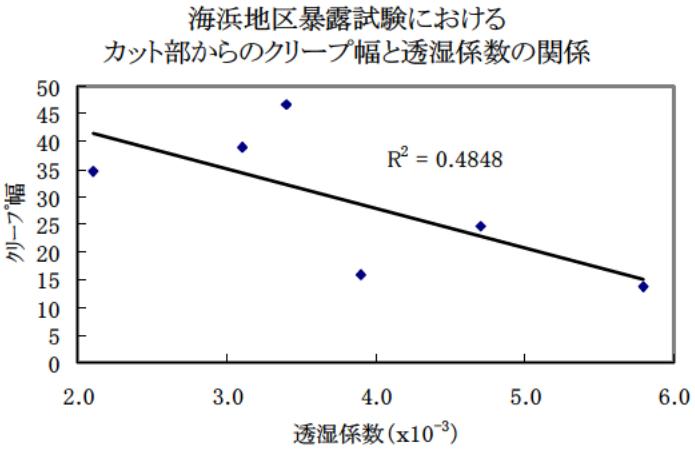
$$L = \chi^2 / 6D + \tau$$

L：耐用年数
χ：塗膜厚(mm)
D：酸素拡散係数（mm･sec^{-1}）
τ：接着力(付着力)およびその他の要因

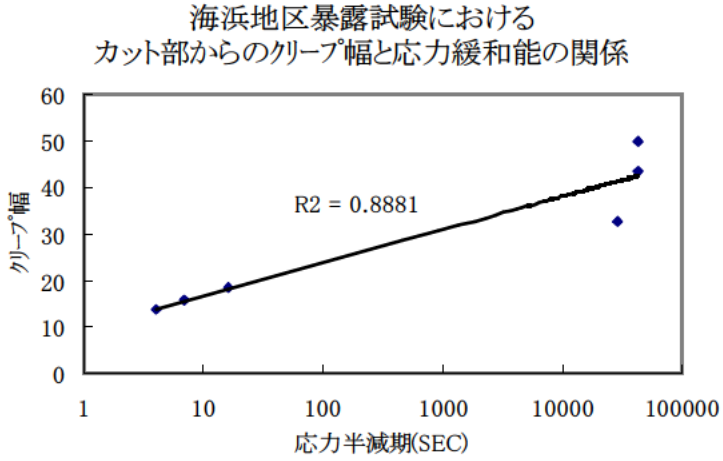
3) G.Menges,Kautschuk u,Gumi-kunststoffe,25［5］、２１３（１９７２）



図－9.1　酸素透過係数と防食性



図－9.2　透湿係数と防食性



図－9.3　応力緩和能と防食性

参考文献

１）奥俊治：架橋形塗料における各種塗膜得数値と防食性に関する検討、第 27 回鉄構塗装技術討論会(2004)

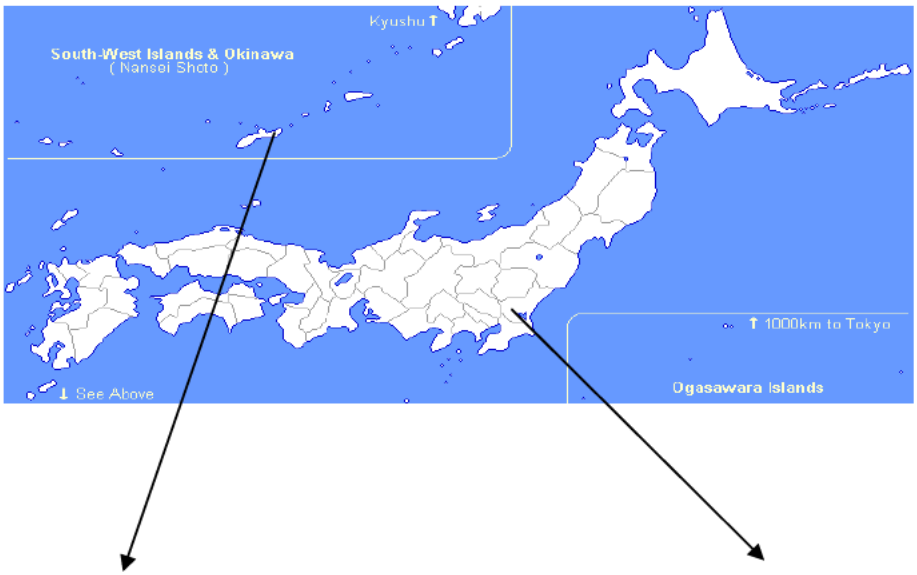
資料－１

屋外暴露試験

解析用途

日光および自然環境に直接試験片(塗膜)をさらして、自然の環境から受ける影響(紫外線・酸素・水分・温度など)に対する抵抗性(耐久性)を確認する。

場　所



亜熱帯環境（海浜地区）　　温帯環境　（内陸地区）



沖縄暴露試験場（沖縄県大宜味村）



つくば暴露試験場（茨城県つくば市）

関連 JIS 規格：

JIS K 5600-7-6「塗料一般試験方法　第７部：塗膜の長期耐久性－第６節：屋外暴露耐候性」

資料－２

複合サイクル試験装置

解析用途

塩水噴霧・乾燥・湿潤のサイクル試験環境に直接試験片(塗膜)をさらして、塩分・酸素・水分・温度などに対する抵抗性(促進防食性)を確認する。

装　置





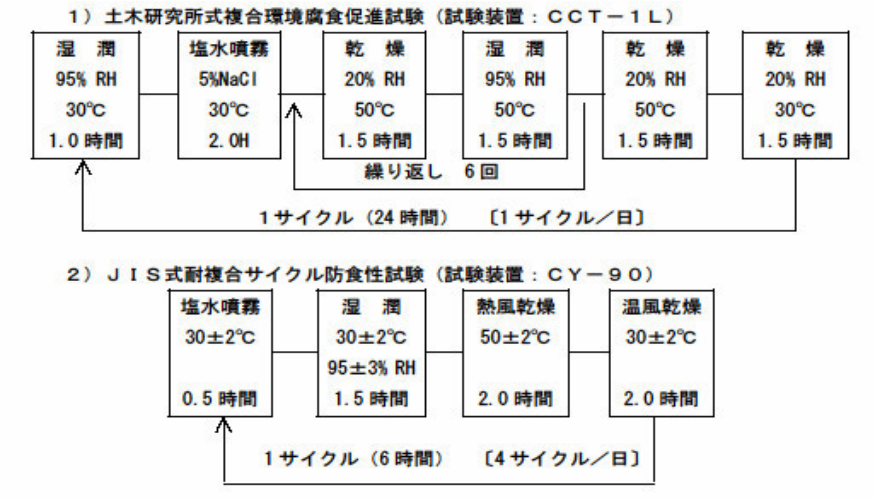
型式：ＣＣＴ－１Ｌ（スガ試験機㈱製）





型式：ＣＹ－９０（スガ試験機㈱製）

試験条件



関連 JIS 規格：

JIS Ｋ 5600-7-9「塗料一般試験方法　第７部：塗膜の長期耐久性　第９節：サイクル腐食試験方法－塩水噴霧/乾燥/湿潤」

資料－３

促進耐候性試験装置

解析用途

放射エネルギーの相対スペクトル分布が太陽光の紫外部と可視部にほぼ等しくなるように調整されたキセノンアークランプの照射と水分の作用を施した環境に直接試験片(塗膜)をさらして、擬似自然環境に対する耐光性(促進耐候性)を確認する。

装　置





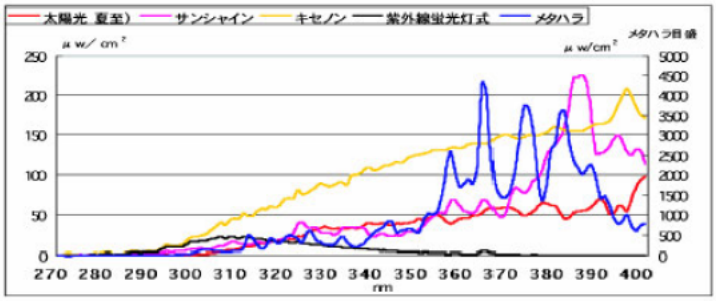
２灯式
スーパーキセノンウェザーメーター
ＳＸ２－７５型
(スガ試験機㈱製)

試験条件

ＪＩＳ　Ｋ　5600-7-7 促進耐候性(キセノンランプ法)に準拠する。

・ ブラックパネル温度	：６３℃
・ 試験槽内湿度	：５０％ＲＨ
・ スプレー	：１８分/１２０分中
・ 試料(塗膜)面放射照度	：６０W/㎡ (at300～400nm)
・ フィルター	:インナー＝石英、アウター＝＃275

促進耐候性試験光源
および太陽光波長分布
(紫外線)



関連 JIS 規格：
JIS K 5600-7-7「塗料一般試験方法　第７部：塗膜の長期耐久性－第７節：促進耐候性(ｷｾﾉﾝﾗﾝﾌﾟ法)」

資料－４

耐湿試験装置

解析用途

ある湿度環境に直接試験片(塗膜)をさらして、連続結露に対する抵抗性(促進耐水性)を確認する。

装　置





形式：ＣＴ－３（スガ試験機㈱製）

試験条件

ＪＩＳ　Ｋ　5600-7-2 回転式に準拠する。

・ 試験板(片)の位置の温度	：５０±１℃
・ 相対湿度	：９５％以上
・ 空気流量	：湿潤箱内容積の約３倍/ｈ
・ 水	：脱イオン水
・ 回転環の速さ	：毎分約１/３回転

関連 JIS 規格：

JIS K 5600-7-2「塗料一般試験方法　第７部：塗膜の長期耐久性－第２節：耐湿性(連続結露法)」

資料－５

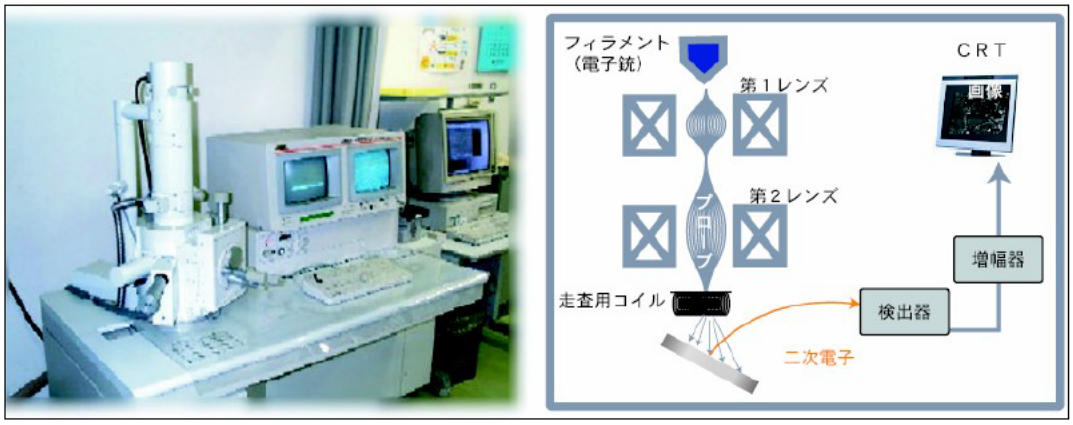
塗膜表面観察装置

解析用途

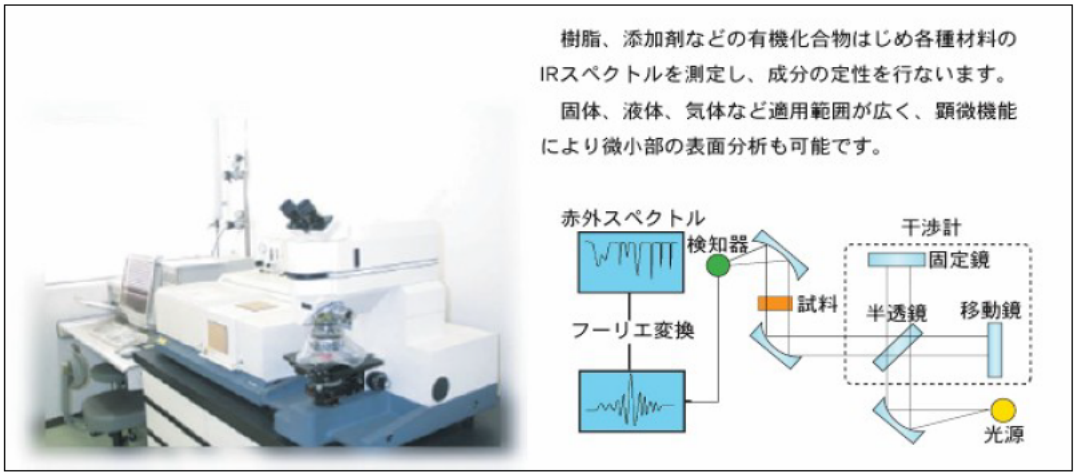
塗膜表面の微細な観察(SEM 観察)および樹脂など有機化合物の IR スペクトルの測定等を行い、塗膜表面の変化を追跡する。

装　置

走査型電子顕微鏡（Scanning Electron Microscope：SEM）



フーリエ変換赤外分光光度計
（Fourier Transform Infrared Spectrophotometer：FT-IR）



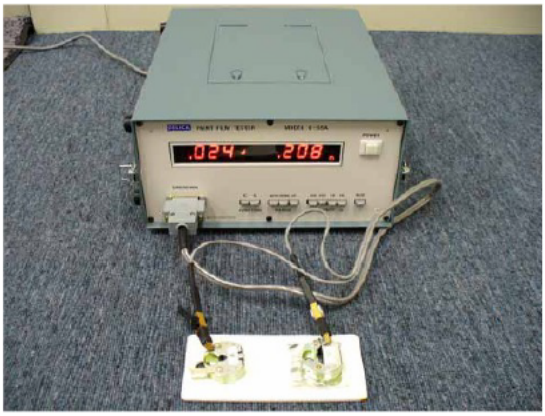
資料－６

インピーダンス試験装置

解析用途

塗膜および塗膜下金属の劣化状態を電気化学的に測定する方法の一つで、交流法により塗膜のインピーダンスを測定(交流ﾌﾞﾘｯｼﾞを用いて容量と抵抗を同時に測定)して、その周波数特性から劣化の程度を調べる。

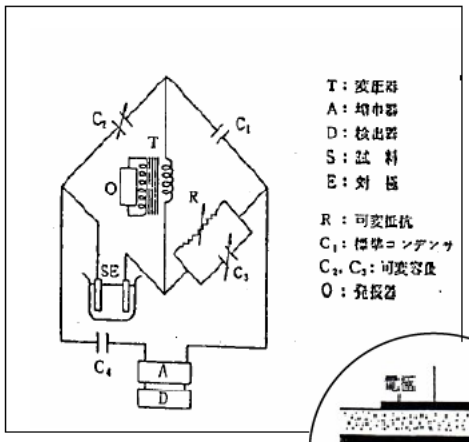
装　置



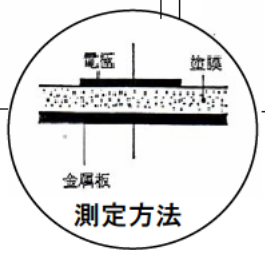
形式：ｲﾝﾋﾟｰﾀﾞﾝｽﾒｰﾀｰ D-55A
製造：㈱三田無線研究所

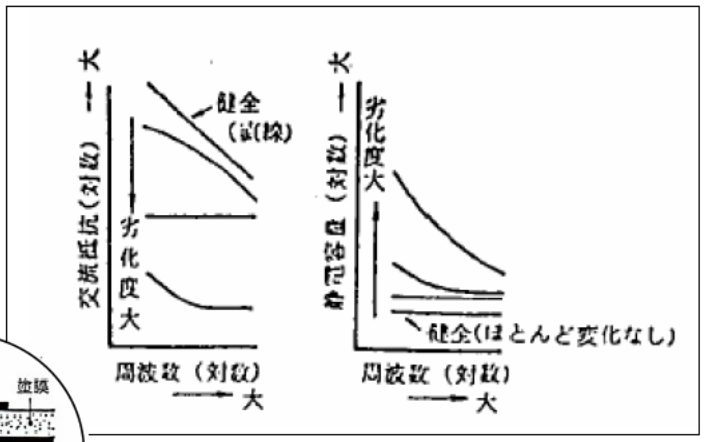
測定原理

塗膜を絶縁物と考え、金属素地と塗膜表面に当てた別の電極との間でコンデンサーを形成し、交流電流を流してその静電容量C、コンダクタンスG（抵抗Rの逆数）、タンデルタD等を測定して塗膜の性能を評価する。インピーダンスとはC、G、R、D等の総称。



塗膜ｲﾝﾋﾟｰﾀﾞﾝｽ
測定回路(例)





塗膜劣化に伴うｲﾝﾋﾟｰﾀﾞﾝｽの周波数特性の変化

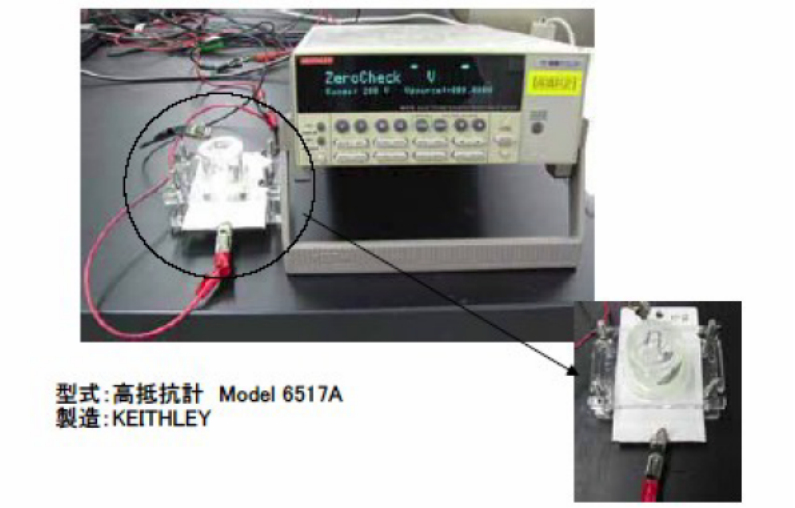
資料－７

塗膜抵抗測定装置

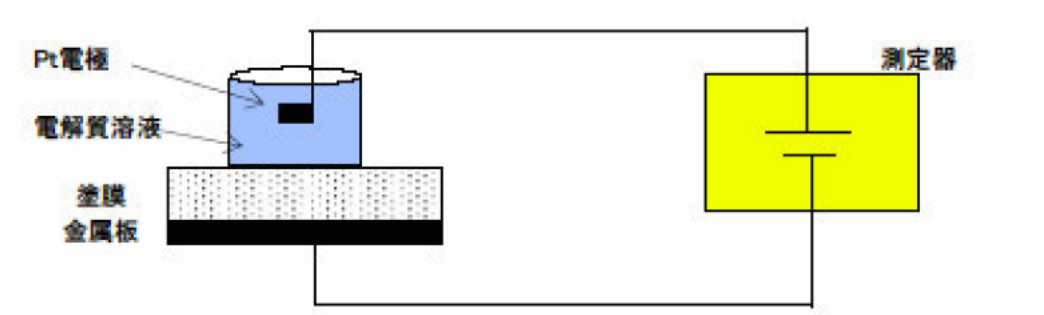
解析用途

塗膜および塗膜下金属の劣化状態を電気化学的に測定する方法の一つで、直流法により塗膜の抵抗あるいは試験板（片）の電位を測定し、それらの変化を劣化度として比較する。

装　置



測定原理



塗膜に定電圧（V）をかけ、塗膜中に流れた微小電流（Ｉ）を検出し、塗膜抵抗値（R_1）を測定する。
金属板の抵抗値（R_2）および測定器の抵抗値（R_3）は塗膜抵抗値（R_1）と比べ、
$R_1 >> R_2$ ， R_3 であることから回路全体の抵抗値 $R \fallingdotseq R_1$ となる。

資料－８

酸素透過性測定装置

解析用途

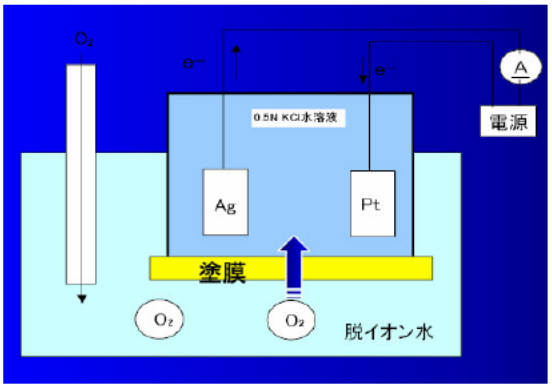
金属をさびさせる腐食因子となる酸素の塗膜の透過性を測定する。

装　置



形式：K-316 フィルム酸素透過率計
製造：ツクバリカセイキ㈱

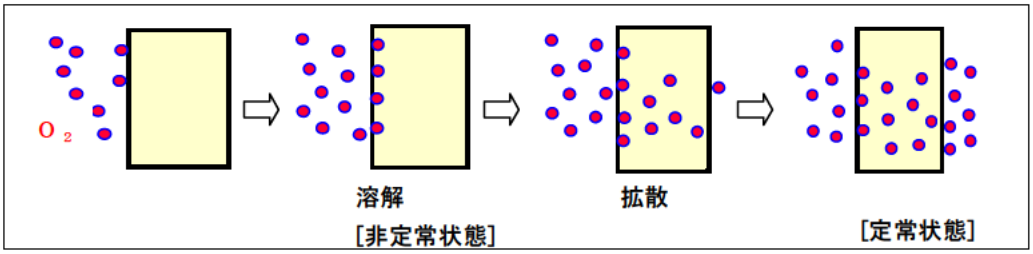
測定原理



フィルムを透過してくる酸素ガスと電極との還元反応を利用してフィルムの酸素透過係数を測定する方法を用いている。
陰極面（Pt部）での酸素の反応は O2+2H2O+4e−→4OH−
陽極面（Ag部）での反応は　　4Ag+4OH−→2H2O+2Ag2O+4e−
酸素が塗膜に溶解、拡散し、定常状態になった時の酸素の透過量（cm3）及び膜厚（cm）を塗膜面積（cm2）、時間（sec）及び圧力（Pa）当りに換算して酸素透過係数を計算する。
酸素透過量は還元反応により流れた電流より求められる。

酸素透過係数単位 ： $cm^3(STP)cm/cm^2sec\cdot cmHg$　あるい　$cm^3(STP)cm/cm^2sec\cdot Pa$

酸素の塗膜透過過程



酸素が塗膜を透過するということは、塗膜に酸素が溶けこみ（溶解）、塗膜中を酸素が移動していく（拡散）ことである。 酸素の塗膜への溶けこみやすさを溶解度係数表し、塗膜中の酸素の移動のしやすさを拡散係数で表す。 酸素透過係数は溶解度係数と拡散係数の積で求められる。

資料－９

水蒸気透過度測定装置

解析用途

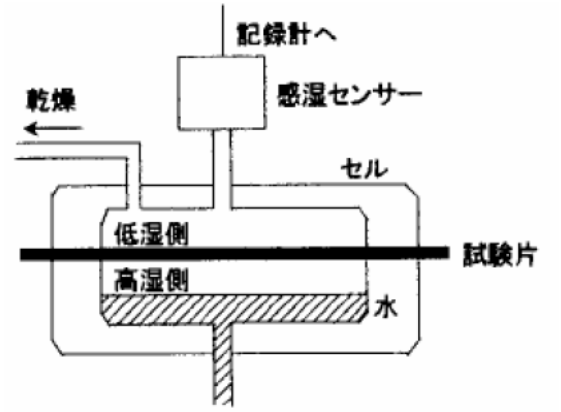
金属をさびさせる腐食因子となる水分(水蒸気)の塗膜の透過量を測定する。

装　置



形式：Ｌ 80-4000 型
製造：Lyssy 社

測定原理



本装置は JIS K 7129(A 法)に規定された感湿センサー法による検出器で、湿度センサーの取り付けられた上部チャンバーと下部チャンバー(飽和水蒸気)の間に塗膜を挿入して固定する。上部チャンバーをあらかじめき決められた湿度下限レベルまで乾燥させた後、塗膜の水蒸気透過により上部チャンバーを加湿してゆき、上部チャンバーの湿度が９％から 11％に変化する時間を測定し、下式から透湿度(ｇ/㎡・24 ｈ)を算出する。

$$WVTR_{塗膜} = WVTR_{std.} \times T_{std.} / T_{塗膜}$$

$WVTR_{std}$：標準ｻﾝﾌﾟﾙの透湿度
T_{std}　：標準ｻﾝﾌﾟﾙで透湿度が 9％から 11％に変化する時間
$T_{塗膜}$　：塗膜で透湿度が 9％から 11％に変化する時間

(注) 透湿度(Water Vapor Transmission Rate)は水蒸気透過度とも呼ばれ、「所定の温度及び湿度の条件で単位時間に単位面積の試料片を透過する水蒸気の量」(JIS K 7129)と定義される。

また、塗膜厚を加味した透湿係数と透湿度の関係は以下の通りである。

透湿係数(g・cm/㎡・24h・mmHg)＝透湿度(g/㎡・24h)×塗膜厚(μm)×10^{-4}/55.324mmHg

資料－10

塗膜力学特性測定装置

解析用途

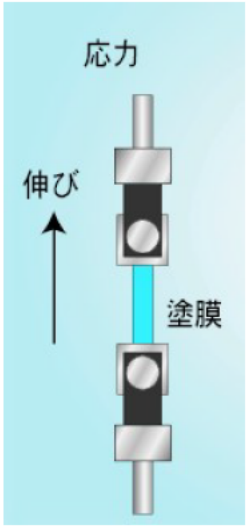
フィルム(塗膜)を引張り、圧縮、曲げた場合の特性(破断応力、破断ひずみ、応力緩和能など)を測定する。

装　置



形式：小型卓上試験機 EZTest
製造：島津製作所

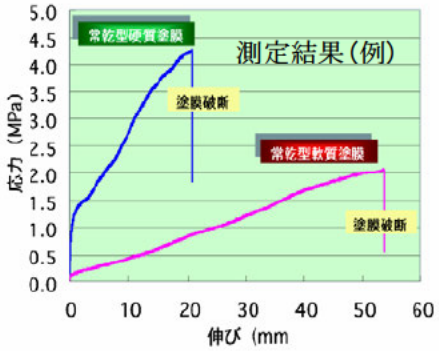
測定原理



破断ひずみ（塗膜伸び率）

破断応力（塗膜破断強度）

塗膜を上に引張りその時の応力変化を測定する。



応力緩和

塗膜に一定の負荷をかけ、経時での応力残存状態を測定する。応力残存率が 50%になるまでの時間(半減期)で比較する。

