

# 土 木 研 究 所 資 料

第 550 号

人間工学による除雪車の操作性の考察

—作業中の高速ロータリ除雪車による生体負担—

昭和44年12月

建 設 省 土 木 研 究 所

# 人間工学的手法による除雪車の操作性の考察

## —作業中の高速ロータリ除雪車による生体負担—

機 械 研 究 室

吉 崎 博

小 室 日出男

### 目 次

|       |                                      |    |
|-------|--------------------------------------|----|
| 1     | まえがき .....                           | 1  |
| 1.1   | 実験の経緯 .....                          | 1  |
| 1.2   | 実験の目的 .....                          | 1  |
| 1.3   | 自動車運転中の生体負担と脈拍および精神電流現象の関係について ..... | 1  |
| 1.4   | 自動車運転と情動の関係について .....                | 3  |
| 2     | 実験の方法 .....                          | 4  |
| 2.1   | 実験機種 .....                           | 4  |
| 2.2   | 実験場所，日時およびオペレータの特徴等 .....            | 4  |
| 2.3   | 測定項目および計測器 .....                     | 4  |
| 3     | 実験結果と考察 .....                        | 7  |
| 3.1   | 車速と生体負担の関係について .....                 | 7  |
| 3.2   | 種々の状態における生体負担について .....              | 7  |
| 3.2.1 | 「準備」状態における生体負担について .....             | 8  |
| 3.2.2 | 「暗算」状態における生体負担について .....             | 8  |
| 3.2.3 | 「SR走行」状態における生体負担について .....           | 8  |
| 3.2.4 | 「SR作業」状態における生体負担について .....           | 9  |
| 3.2.5 | 「ジープ走行」状態における生体負担について .....          | 9  |
| 3.3   | 「SR走行」と「SR作業」状態における生体負担の比較 .....     |    |
|       | —拡張除雪作業における操舵の人間工学的な考察— .....        | 10 |

|         |                                   |    |
|---------|-----------------------------------|----|
| 3. 4.   | 運転経験時間数が生体負担に及ぼす影響について.....       | 15 |
| 3. 5    | 各オペレータの生体負担の特徴について .....          | 15 |
| 3. 5. 1 | オペレータ A の生体負担の特徴について .....        | 15 |
| 3. 5. 2 | オペレータ B の生体負担の特徴について.....         | 15 |
| 3. 5. 3 | オペレータ C の生体負担の特徴について.....         | 16 |
| 3. 5. 4 | オペレータ D の生体負担の特徴について.....         | 16 |
| 3. 5. 5 | オペレータ E の生体負担の特徴について.....         | 16 |
| 3. 6    | 対向車両数が生体負担に及ぼす影響について.....         | 17 |
| 3. 7    | 脈拍と精神電流現象 ( G S R ) の関係について ..... | 17 |
| 4       | 結 論 .....                         | 19 |
| 5       | あ と が き .....                     | 20 |

## 1. ま え が き

### 1.1 実験の経緯

建設省では42年度拡張専用プロワ型高速ロータリ除雪車を製作した。同除雪車の作業時車速は、在来の同型式のロータリ除雪車のそれが1 (Km/h) ~ 3 (Km/h) であるのに対し、20 (Km/h) の高速を持っている。

当機械研究室では、42年度、仙台技術事務所の協力を得て、性能試験を行なった結果、同除雪車の性能はほぼ設計値を満足しており、条件さえ良ければ能率の良い除雪作業が期待できることが判明した。

しかし、現場では、同除雪車の最大の特徴である高速性を十分に利用した能率の良い除雪作業が行なわれているとは必ずしも言えず、オペレータの運転技術やリヤステアリングに対する不慣れ、あるいは、道路条件等に制約されて、余りスピードを出すことができないのが実状である。

このような経緯の下に、43年度、同除雪車の特性を人間工学的な面から、実験・研究を行なった。

### 1.2 実験の目的

オペレータ・高速ロータリ除雪車系に作用する諸要因の相互関係を、人間の心身反応を介して捕えようとする人間工学的な観点に立つて、物理的な計測によつては表わすことができない除雪作業中のオペレータの生体負担を測定することにより、同除雪車の特性、とりわけ、除雪作業中の操作性を究明し、高速除雪車の、性能向上のための基礎的な資料を得ることを目的とする。

### 1.3 自動車運転中の生体負担と脈拍および精神電流現象の関係について

言うまでもなく、人間の労働は精神的な面と、肉体的な面の、二つの面に大別されるが、この両者の間に明確な一線を引くことはできない。しかし、双方の強さの度合により、精神的労働と肉体的労働とに一応区別することができるのであり、自動車の運転は、精神的あるいは、神経感覚的な側面が強く、その面からの負担の占める割合が大きい。

一般に、自動車運転中のオペレータの生体負担の要因は無数にあるとも言えるが、大きく次の3条件に大別できる。

#### ① オペレータ自身に関する条件

② 試験車に関する条件

③ 外部条件

さらにこれらは、本実験の場合、以下のように細別できる。すなわち、

① オペレータ自身に関する条件

運転経験時間数、パーソナリティ（情動性、運動機能性）、性別、年齢、体格、栄養、睡眠、健康状態、等

② 除雪車に関する条件

機種、大きさ、重量、速度、座席（ハンドル）の位置・高さ、除雪装置の位置・大きさ、ハンドルと除雪装置の相対的位置、視界（見通し易さ）、ステアリングシステム、振動、騒音、視準点（位置、方向および視準距離）等

③ 外部条件

気温、天候、明るさ、道路条件（線形、舗装・未舗装の別、人車混雑度、交叉点等）、交通状況（人通り、通交車両等）、等

の諸要因が挙げられる。

人間、機械系に作用する諸要因による過剰刺激がオペレータの必身の余裕域を越え、許容できなくなると負担となつて現われるものである。

現在までのところ、自動車運転中の生体負担の測定は運転中の脈拍数（心拍数）、呼吸数、精神電流現象（皮膚電気反射）など、一連の自律神経関係の反応が、自動車運転中の生・心理的な負担の測定に有効であることが実証されている。

今回の実験では、上のような自律神経関係の反応のうち、脈拍数、精神電流現象（GSR）を測定したので、これらについて以下に簡単に説明する。

なお、詳しくは、参考文献（3）等、巻末に掲げた文献を参照されたい。

(I) 精神電流現象（GSR）

精神電流現象（GSR）は、自律神経系の中樞の興奮特に感情刺激によつて汗腺の見かけ上の電気抵抗を減少させ、電流の一過性の増加をひき起す現象である。精神電流現象の大きさ（反射量）を自律神経系の中樞の興奮の大きさ（生体負担の大きさ）として、取り扱うのは、種々問題はあつたが、反射頻度に着目し、一定時間内に発現した反射数から、作業の精神的負担度を推定するという見方がとられており、本報告書でもこの方法を採用した。

## (2) 脈 拍

動脈の搏動（脈拍）は呼吸運動や体温と共に、生命現象の直接の現われとして、古くから注目されて来たが、量的に脈拍数を問題にしたのは、Galileo（1620年）以来であると言われている。

労働生理学の上で、脈拍数は身体運動に伴って起る促進反応がまず注目され、作業現場で労作中の脈拍数の測定が容易に行なわれるようになった今日、労作中の脈拍数を指標にして、作業条件（作業時間、労働強度等）や、作業環境に対する適切な管理を実現する可能性が大きくなっている。

また一方、脈拍は、自律神経中枢性緊張の効果や精神的負荷の影響、その他、脈拍数の急激な変化に関係する刺激効果の分析に新分野が開かれつつあり、前述した通り、自動車運転中の生・心理的負担の測定に有効であることが実証されている。

### 1.4 自動車運転と情動の関係について

一般に、自動車の運転という労働の特徴は、感覚——情動（感情の動き）——意識——反射——行動という過程にあると言われている。

自動車の運転を考える際、反応時間、追跡動作、速度、視力、および聴力などの身体運動機能や感覚機能が問題となり、その他に、パーソナリティ、特に情動（感情の動き）も重要な問題の一つである。

自動車の運転は、ある程度習熟した後は、動作はすべて、反射的に行なえるようになるから、思考・判断を主な機能としている大脳皮質の活動はそれほど大きくないと考えられている。その上、身体運動量も限られているから、運転中、種々な場面に遭遇した時に、その状況判断に伴なり皮質下の興奮、ことに情動の在り方が、自動車の運転を考える際問題となるのであり、血圧が情動に影響を及ぼし易いことも報告されている。

後述するように、本実験においても、脈拍および精神電流現象と情動の間には顕著な関係が認められた。

## 2. 実験の方法

### 2.1 実験の機種

42年度、建設省が製作したSR-300型広幅専用プロワ型高速ロータリ除雪車と同型式で、少し小型のSR-301型機、およびSR-302型機（前者は富山技術事務所、後者は仙台技術事務所が43年度製作）について、実験を行なった。（写真-1）は同除雪車の外観である。

また、同除雪車の比較対象として、ジープ（三菱J30）についても、上と同様に実験を行なった。

以下に、除雪車の主要な諸元を記す。

除雪量：4,200 (t/h), 14,000 (m<sup>3</sup>/h)

作業時車速（最大）：20 (km/h)

総重量：21.857 (t)

車 長：11.64 (m)

車 幅：3.15 (m)

ホイールベース：3.08 (m)

### 2.2 実験場所、日時およびオペレータの特徴等

SR-302型機については昭和43年1月26日（日）～29日（水）の4日間、山形国道工事事務所尾花沢見張所をベースキャンプとして、国道13号線の尾花沢近辺で、またSR-301型機については、2月18日（火）～20日（木）の3日間、上越国道工事事務所湯沢出張所をベースキャンプとして、国道17号線の新潟県浦佐町八色近辺で実験を行なった。（写真-2）は実験中の様子である。

天候はいずれの場合も、曇りないし曇り時々晴の風のない穏やかな日であった。

実験を受けたオペレータは計5名であり、それらの特徴等は（表-1）に示される通りである。

### 2.3 測定項目および計測器

測定項目、計測器およびその接続は（表-2）に示される通りであるが、測定項目を中心として、以下簡単に説明する。

#### ① 精神電流現象 (GSR)

前述した通り、感情の興奮に伴って生ずる発汗作用による手掌の見かけ上の

電気抵抗変化をブリッジボックスを介して取り出している。

ビックアップはサンプラチナ製の約1cm平方の薄い平板であり、ゴムバンドにネジ止めされている。(写真-3)の左側がGSR用ビックアップである。

2個のビックアップの内、1個は右手掌の発汗が多く、比較的動きの少ないくぼみの部位に、皮膚とビックアップにペーストをすりつけた後、ゴムバンドを取りつけ、ビックアップを皮膚に密着、固定させるために、さらにビニールテープを上から巻きつける。他の1個のビックアップはアース用であり、同様にして、右手首上方の内側に貼りつける。(写真-4)はその取り付け状況である。

## ② 脈 拍

ビックアップは指用光電式反射型であり、照射部(光源)とその受光部が黒い布製の小袋に納められている。光源(小型電球)から照射されている光量の内受光部に帰つて来る反射光量は、変動する流血量に応じて変化し、この変動する反射光量を硫化カドミウム(cds)光導体の受光部で受けて電流に交換する。

光源の電源部は別のケースに納められており、単1乾電池2個が使用されている。

ビックアップ(黒い布製の小袋)に右人差し指をはめこみ、指の腹に光源が密着するように、さらに上からビニールテープを巻きつけて固定させる。

(写真-3)の中央が脈拍用ビックアップであり、(写真-5)はその取り付け状況である。

## ③ 筋電流

筋肉の動きに応じて、一週性の電流が流れる。この電流を筋電流と言い、神経筋単位の活動状況を表わしている。

ビックアップはサンプラチナ製の、くぼみのある径1cm弱の皿にリード線を取りつけたものである。

左手首上部内側の接着し易い部位に2個を10cm位離して、GSR用ビックアップの取り付け要領と同じようにして取りつける。

(写真-3)の右側が筋電流ビックアップである。

#### ④ 操舵角

除雪作業中の操舵の様子を知る目的で、操舵角（ハンドル回転角）を測定する。

操舵角計は巻線抵抗式であり、円筒形の胴体に巻線抵抗が納められており、円筒の頭から出ている回転軸の先端に取りつけられた径4 cm弱の薄い円板をハンドルの回転軸に圧着させて、ハンドルの回転に伴って抵抗値を変化させ、操舵角を検出する。胴体部は動かないようにビニールテープで巻き付けて固定されている。

（写真-6）はその取り付け状況である。

#### ⑤ 走行機関および作業機関トルク

除雪作業中のけん引力やプロワにかかる負荷の大きさつばな大きさと変化の様子を知り、記録紙から諸々の値を読み取る際に、なるべく安定した部分を読み取るための目安とする。

#### ⑥ 走行車軸回転数

車速（走行速度）の大体の値を知る目的である。

#### ⑦ タイマー

電接時計により、1秒単位で刻時する。

#### ⑧ マーカ

実験中の状況（道路状況、対向車両、オペレータの様子、時刻等）を記録紙の余欄にメモし、そのメモと記録された現象（上記①～⑦の各測定値）とを対置させるために、マイクロスイッチを押して、パルス状のマークを入れる。

以上で測定項目の説明は終るが、なお、ジープによる実験の場合は、上記の⑤走行機関および作業機関トルクおよび⑦の走行車軸回転数、は測定されておらず、また、計測器の電源には、車載バッテリー（24V-200 Ah）に替り、（12V-100 Ah）のバッテリー2個をジープに積みこんで使用した。

### 3. 実験結果と考察

(表-3)は記録紙から読み取った値を取りまとめた測定結果である。

なお、筋電流は操舵力を知る目的で測定したが、精神的な負担には直接、関係はないので考察の対象からは省いた。また同表中、対向車の欄のA、B、C、Kの記号は備考欄の注意書きの通りである。たとえば、A×2は大型車2台を意味している。

#### 3.1 車速と生体負担の関係について

(表-4)は車速と脈拍およびGSRとの間の相関係数を高速ロータリ除雪車が、除雪作業を行わないで単に走行する場合である走行状態(表中、「SR走行」)、同除雪車が除雪作業を行なう場合である作業状態(表中、「SR作業」)、およびジープの走行状態(表中、「ジープ走行」)について計算した結果の一覧である。

表中、相関係数に負の値が出ているが、これは、出発前オペレータが、手掌、指等に取りつけられたビックアップ類に異和感を覚えたり、実験の奮闘気配のみ込まれていることに起因して、過緊張の状態にあるが、走行するに伴い、慣れて来て、出発直前の過緊張状態が緩んで行くためと考えられる。

車速が60 (Km/h)以上の場合には、心拍数、手掌皮膚抵抗値(RSR)は、車速の二次的变化に似た変化を示すことが報告されているが、本実験においては車速は、ほとんど40 (Km/h)以下であること、および測定点が少く、計算の精度が粗いこと等に因り、車速と生体負担の間の相関性の有無を確認することができなかった。

本実験のように、車速が40 (Km/h)以下である場合は、車速が生体負担に及ぼす影響は他の因子(後述するように、情動、対向車両、リヤステアリング、視準点等)が及ぼす影響に比べて、無視できるほど小さいのではないかと考えられる。

#### 3.2 種々の状態における生体負担について

(表-5)は、除雪車とジープについて、表に示されるような測定状態、すなわち、「準備」、「暗算」、「SR走行」、「SR作業」および「ジープ走行」の各状態におけるオペレータの脈拍から見た生体負担であり、同様に(表-6)はGSRから見た生体負担を示したものである。これら2表はいずれも、(表-3)の同一状態における測定値を平均した値であり、また、表中の比は脈拍比については「安静」時が、GSR比については「準備」時が基準である。

(図-1)、(図-2)は各上表(表-5)、(表-6)を図示したものである。

以下に各測定状態における生体負担について考察を行なう。

### 3.2.1 「準備」状態における生体負担について

ピックアップを貼り付け終り、計測器を調整した後、オペレータに運転の姿勢を保持させて、気持ちを楽に平静にさせた状態で測定した値である。

同表に示されているように、五人のオペレータの脈拍比はすべて、100(%)以上の値を示しており、出発前から相当緊張していると言える。

(表-5)、(図-1)に示されているように、脈拍比はオペレータEが5人のオペレータ中、いずれの測定状態においても最大であり、オペレータEの情動が最大オペレータAの情動が最小、次にオペレータDの情動が小さいと推定される。

### 3.2.2 「暗算」状態における生体負担について

オペレータに運転姿勢を保持させた状態で、2～3桁の簡単な加え算、掛け算を暗算させた時の測定値である。

脈拍についてみると、オペレータC、E、D、B、A、GSRについてみると、オペレータC、D、B、Aの順に測定値は小さくなっている。

以上、「準備」、および「暗算」状態における測定結果から判断して、情動はオペレータEが最大、オペレータAが最小であり、次にオペレータDが小さいと推定される。

### 3.2.3 「SR走行」状態における生体負担について

除雪装置は中央部に送り戻し、除雪装置を支持している補助輪は路面に接地しないで浮かし、除雪作業は行なわないで、5(Km/h)～30(Km/h)の速度で、一般の車両が通行する国道を走行し、その間のオペレータの生体負担を測定した。

脈拍についてみると、5人のオペレータの平均値は「安静」の123(%)であり、オペレータEが最大で155(%)、オペレータDが最小で103(%)である。

前表(表-1)、(表-5)、(表-6)から、生体負担は運転経験時間数が少ない(多い)方が大きく(小さく)なっていることが分る。

後述するように、走行中に行き会った対向車両によつて生体負担が増加するオペレータとそうでないオペレータもあるので、今、対向車両による生体負担の影響を一応無視して考えると、上述のように情動が大きく、かつ、運転経験時間数が少ないほど、生体負担は大きいとすることができる。

また、(表-5)に示されている通り「ジープ走行」状態における脈拍を基準とした場合の脈拍比から見れば、オペレータEが最大で130(%)、オペレータBが最小で97(%)、次にオペレータDが小さく103(%)となっており、この値の大小の順序は運転経験時間数の大小の順序とはほぼ一致しており、この値は除雪車の運転技術の熟達度を表わす一つのインデックスとみなすならば、オペレータBの運転技術は最も優れていると言える。また、オペレータDは運転経験時間数は少ないが、運転技術はオペレータBに次いで優れていることが目立っている。

### 3.2.4 「SR作業」状態における生体負担について

作業速度5(Km/h)~20(Km/h)で除雪作業中のオペレータの生体負担を測定した。

脈拍についてみると、オペレータEが最大で184(%)、オペレータDが最小で115(%)であり、前節3.2「SR走行」状態における生体負担について、において述べられたと同様に、情動が大きく、運転経験時間数が少ない方が生体負担は大きいとすることができる。

脈拍比、GSR比のオペレータについての平均値は、各、139(%)、379(%)であり、これらを「SR走行」状態における値に比べると、各、16(%)、79(%)大きくなっている。

換言すれば、除雪作業中のオペレータの生体負担は、除雪作業を行なわないで単に走行する場合の生体負担より、脈拍比でみれば16(%)、GSR比で見れば79(%)大きくなっていると言える。

### 3.2.5 「ジープ走行」状態における生体負担について

一般国道上をジープ(三菱J30)で車速5(Km/h)~60(Km/h)で走行した場合である。

脈拍比についてみると、(表-5)に示されるように、オペレータBとEが

最大で共に119(%)、オペレータDが最小で100(%)である。

5人のオペレータはいずれも、自動車経験年数はいずれも10年以上のウェテランであり経験年数の多少による運転技術の優劣はほとんどないと考えられるから、ジープ運転中のオペレータの生体負担は、前述と同様、車速による影響は小さいが、運転機能および情動の違いによる影響は大きく、特に情動の大きい方が大きいと考えられる。

また、オペレータについての平均値は111(%)であり、これは「準備」状態における平均値に等しく「SR走行」および「SR作業」状態における平均値123(%)、139(%)より、各、12(%)、28(%)、いずれも小さくなっている。これらの数値から、除雪車を運転する場合の生体負担が、ジープに比べていかに大きいかがよく分る。

### 3.3 「SR走行」と「SR作業」状態における生体負担の比較

#### —— 拡張除雪作業における操舵の人間工学的な考察 ——

「SR走行」状態における生体負担と「SR作業」状態における生体負担の相違について比較検討して、拡張除雪作業における操舵を人間工学的な立場から考察する。

両状態における生体負担の差は、(表-5)、(表-6)に示されるように、オペレータEが最大、次にオペレータCが大きく、オペレータBが最小である。

前述した通り、情動が大きく、運転経験時間数が少ない方が、生体負担は大きくなっていると言える。

(表-6)に示されるようにオペレータBのGSR比は負の値を示しているがこれは特に意味のあることではなく、後述するように、オペレータBは同除雪の運転操作に相当習熟しているために、「SR走行」、「SR作業」いずれの場合にも生体負担の大きさがほとんど変わらず、その時の測定条件によつて両状態における測定値の大小が逆転するものと考えられる。

オペレータについての平均値は脈拍では16(%)、GSR比では82(%)という値を示しており、この値の持つ意味、作用している因子について、以下考察する。

前節1.3に挙げた生体に負担を及ぼす因子の内、①オペレータ自身に関する条件、

③外部条件の二つは、「SR走行」と「SR作業」においては同一のレベルに保たれて、実験は行なわれていると考えられ、また、平均値を考察の対象としているので、各オペレータの個人差は平均化されているから、この2条件を除外して考察して支障ないと考えられる。

同様の理由により、②試験車に関する条件の内、機種、大きさ・重量、ハンドル（座席）の位置・高さ、除雪装置の大きさ・位置、振動、騒音もまた除外して考察できる。また、前節3.1で述べたところにより、車速も一応除外して考察できる。

したがって、残る因子は、ハンドルと除雪装置の相対的位置、視界（見通し易さ）、ステアリングシステム、視準点である。

これらはいずれも操舵に関する因子であり、以下操舵を中心にして考察を行なう。

路肩の拡幅除雪作業は、その作業の性質上、路肩の雪堤に除雪装置を一定の幅だけ食い込ませた姿勢を保ちながら、道路の線形を正しくフォローしながら走行することが要求されるので、除雪作業を行なわないで単に走行する場合以上に、操舵の道路線形に対する追従の安全性の良さ、精度の高さが要求される。

（図-3）は除雪作業中の、また（図-4）は走行中の記録紙であり、車速はいずれも15（Km/h）前後である。両図を比較すると、除雪作業中の操舵角は不連続の小さい山となっており、絶えず小刻みにハンドルを操作して、除雪装置を雪堤の線形に追従させようとしている様子がよく分る。

また、現場の実作業においても、除雪車は蛇行することが多く、雪堤に深く突っ込みすぎて、荷をかかえ過ぎ、エンストを起したり、あるいは雪堤から大きくそれて、尻を振る様子が度々観察された。

このように、除雪装置に荷をかかえた状態で道路線形を正しくフォローする姿勢を保持することはむづかしく、除雪作業中の操舵系の道路線形に対する追従の安定度、精度は良好とは言えない。

このように、拡幅除雪作業中、道路線形に対する追従の安定度、精度が良好でない主な原因には、前出（1.3節）の要因の内、

- ① 視準点（位置、方向および視準距離）

## ② リヤステアリングシステム

の二つが挙げられる。

以下、この二つについて検討する。

### (1) 視準点（位置，方向，および視準距離）について

除雪作業を行なわないで単に走行する場合は、視準点を数十m前方の地点に定め、この視準点からの変位に比例した操舵角を与えるために、安定した精度の良い操舵を行なうことができる。

一方、除雪作業における操舵は、視準点をハンドルの位置から見て除雪装置左先端近傍に視準点を置いて、行なわれるため、視準距離は短かく、視準点は車速と等大の相対速度を持つて近づいて来ることになる。

これを人間が連続して反射的に行なう制御動作の立場から言うと除雪作業を行なわない場合はオペレータは入力（変位）の大きさ（ゲイン）に比例した大きさ（ゲイン）の出力（操舵角）を操舵系にフィードバックする比例動作を行っているのであり、他方、除雪作業を行なう場合は、この比例動作と同時に、入力（変位）の速度に比例した大きさ（ゲイン）の出力（操舵角）を操舵系にフィードバックする微分動作をも行なっているのである。

ここで、比例動作、微分動作について、簡単に説明する。

比例動作は、人間が連続して反射的に行なうことができる制御動作の中で、最も基本的な動作であり、しかも人間にとって容易に行なうことができる動作である。

一方、微分動作は、比例動作と同時に用いられて、検出された値の将来値に対する予想動作を表わす。

微分動作は、人間が一応行なうことができる動作ではあるが、比例動作に比べて、負担が重く、普通の人間が比較的長い長時間の労作中、許容できる値は0.2（秒）～0.3（秒）だけ将来の予想を行なう程度の微分動作であると考えられている。

強い微分動作は、オペレータに大きい生体負担を与え、疲労の蓄積が著しいことが明らかにされている。

## (2) リヤステアリングについて

リヤステアリング車の操舵はむずかしいという声が現場のオペレータからも聞かれ、また、障害物回避試験、および現場実作業の観察からも分かるように本除雪車は大きく尻を振り、路肩の雪堤に突つ込んで、過負荷がかかり、エンストを起して作業が中断する事態が度々生じた。

前述した通り、一般に、操舵は、前方に定められた視準点からの車体中心のズレ（変位）の大きさに比例した操舵角を操舵系にフィードバックすることにより、行なわれる。このようなフィードバックが行なわれる場合、操舵系の道路線形に対する追従の安定度、精度を上げるためには、操舵角の大きさ（ゲイン）の問題も重要であるが、遅れ時間（位相）の問題はもつと重要な場合が多いことが明らかにされている。

一般に、自動車運転の場合、ドライバーが一定量の操舵を必要と感じてから、自動車のそれに対する遅れを検出するまでには、次のような遅れの総和だけの位相遅れが生じていることが知られている。

すなわち、ギャ比、操舵系内に含まれる慣性、遊び、剛性の影響、乾性摩擦、粘性摩擦、および自動車の姿勢角の変化による各種の遅れ。

今、ここでフロントステアリングとリヤステアリングというステアリングシステムの相違により、オペレータが一定量の操舵を必要と感じてから操舵を行なう迄の位相遅れの相違について検討してみる。

次のような二つの仮定を置いて簡略化する。

仮定①操舵は、（図-5）に示されているようにフロントステアリングの場合は、後車軸の中間点、リヤステアリングの場合は、前車軸の中間点を中心とする回点運動である。

仮定②オペレータは前車軸の直上に位置している。

このような仮定の上に立つと、オペレータが検出する車体中心の視準点からの変位は、横軸に時間をとると、フロントステアリングの場合は（図-6）の左側、リヤステアリングの場合は同図の右側のように図示できる。

フロントステアリングの場合、オペレータは同図に示されるように、変位（入力）を、間断なく、連続的に検出し、その変位量（入力）に比例した操舵角を出

力として操舵系にフィードバックしている。

すなわち、この場合は、オペレータは操舵系に比例出力を与えているのである。

一方、リヤステアリングの場合、オペレータは同上図に示されるように、 $t_1$  時間の経過後、すなわち、 $t_1$  時間の遅れ時間を伴って、一定量  $L_0$  なるパルス状の変位（入力）を検出し、この値に応じた操舵角を出力として、所要の時間内に操舵系にフィードバックしているのである。そして、ホイールベースが長くなればなるだけ、この遅れ時間は大きくなり、本除雪車のホイールベースはジープ（三菱 J 30）の 1.17 倍で 3.08 m である。

このように、リヤステアリングの場合には、フロントステアリングの場合には見られないリヤステアリングに特有な位相遅れが、人間・自動車系に存在する。

人間・自動車系に存在する遅れ時間（位相遅れ）大きくなればなるだけ、オペレータはその遅れを補償するために強い微分動作を行わなければならない、機械の挙動をあらかじめ、予想しながら操舵しなければならないのである。

この強い微分動作はドライバーに大きい負担を与え、疲労の蓄積が著しいことは前述した通りである。

以上、除雪作業における人間・自動車系の操舵の安定度、道路線形への追従の精度が低下する原因を、

① 視準点（位置、方向および視準距離）

② リヤステアリングシステム

の 2 点において、考察した。

除雪作業中のオペレータの生体負担は、これら二つの除雪車の機構的な要素の強い影響を受けており、これを人間工学的に言えば、除雪作業中のオペレータの生体負担は

① 微分動作

② 遅れ時間

という、相互に強い関係を持つ、2 要因に支配されているとすることができる。

前述した通り、作業状態における生体負担が走行状態における生体負担より、脈拍比で 16（%）、GSR 比で 82（%）（いずれも 5 人のオペレータの平均値）と大きくなっているのは、操舵に強い微分動作を要求される、除雪作業中のオペ

ータにかかる生体負担の定量的な表現値であると考えられる。

### 3.4 運転経験時間数が生体負担に及ぼす影響について

(図-7)は、除雪作業状態における脈拍比と走行状態における脈拍比の差と、運転経験時間数の関係を図示したものである。

図に明らかなように、脈拍の差は、運転経験時間数が増加すると、減少する傾向が認められ、生体負担は、運転経験時間数が増加すると低減すると考えられる。

すなわち、操舵に強い微分動作が要求される、除雪作業中の生体負担は、運転経験時間数が増加するに伴って低減している。これはオペレータに不足している微分的機能が、ある限界はあるとは言え、訓練によつて補われて行くものと考えられる。

### 3.5 各オペレータの生体負担の特徴について

前節3.2では、生体負担の、運転状態、機種による相違を中心として検討したが、各オペレータの生体負担の特徴について検討する。

#### 3.5.1 オペレータAの生体負担の特徴について

前図(図-1)(図-2)に示されているように「準備」、「暗算」状態における脈拍比は5人のオペレータ内で最小である。

また、オペレータB、C、Dの「SR走行」状態における脈拍比は「暗算」状態における脈拍比より大きい値を示しているが、オペレータAは逆に小さくなっているのも特徴である。これはオペレータAが暗算に慣れており、沉着さを失わないため、情動(生体負担)が小さく現われるものと考えられる。総じて脈拍比は5人のオペレータの平均値より小さい。

#### 3.5.2 オペレータBの生体負担の特徴について

オペレータBの生体負担は、測定状態、機種の違いによる変化が少なく、同図に示されるように曲線はほとんど横にねた形を示しており、最大値と最小値の差は、脈拍比で11(%)、GSR比で40(%)と他のオペレータに比べて、極めて小さいことが顕著な特徴である。

(表-5)(表-6)に示されるように、「ジープ走行」状態における生体負担を基準とした場合の「SR走行」「SR作業」状態における生体負担は、脈拍比で各97(%)、119(%)、GSR比で各、108(%)、106(%)といずれも5人のオペレータ中、最小であり、運転経験時間数の多いオペレー

タ B は除雪車の運転操作に習熟しており運転技術は優れていると言える。(参照：前項 3.2.3)

### 3.5.3 オペレータ C の生体負担の特徴について

「暗算」状態における生体負担は、脈拍比では、5 人のオペレータ 中最大である。これは、他の状態における値よりも大きく、オペレータ B, C, D の傾向に似ている。

「ジープ走行」時を基準とした場合の脈拍比、GSR 比の「SR 走行」および「SR 作業」状態における値が、他のオペレータ に比べて著しく大きいこと、(表-1) に示されるように、除雪車の運転経験時間数も 5 人のオペレータ の中で、中位の大きさであること、走行中、左側の障害物を避ける際、大きく尻を振つたり、対向車と行き合う際、必要以上にスペースをとって対向車を寄せる状況が観察されること等から判断すると、オペレータ C は本除雪車の操舵にまだ慣れておらず、運転技術も未熟であると言える。

### 3.5.4 オペレータ D の生体負担の特徴について

他のオペレータ に比較して、いずれの状態においても生体負担は小さい値を示している。

「暗算」状態における脈拍比が他の状態のそれよりも大きく、これはオペレータ B, C の傾向と似ている。

「SR 走行」状態における脈拍比は、「ジープ走行」の場合よりわずかに 3 (%) 大きいにすぎないこと、また、「SR 走行」状態における GSR 比は、「準備」の場合の 88 (%) であり、「ジープ走行」の場合より小さい値を示していること、(表-1) に示されるように運転経験時間数はオペレータ A, B の 1/5 に過ぎないこと、および実験中、このオペレータ による拡幅除雪の仕上りは良好で、雪堤はほぼ均一に直線状に切られており、蛇行も少ない等が観察された事項等を総合的に判断すると、オペレータ D の運転技術と勘の良さは、秀抜であると言える。

### 3.5.5 オペレータ E の生体負担の特徴について

5 人のオペレータ の内で、「暗算」状態を除くすべての状態において、生体負担は最大の値を示している。

「暗算」状態における脈拍比は、「SR走行」、「SR作業」のいずれの場合より小さい値を示しており、この傾向はオペレータAの傾向に似ている。

「準備」、「暗算」状態における生体負担は、脈拍比では、各、「ジープ走行」の場合の113(%)、120(%)であり、慣れない労作、あるいは奮闘気のため、過度の緊張状態にあり、情動も大きいと考えられる。

また、「ジープ走行」時を基準とした場合の脈拍比は、「SR走行」、「SR作業」の場合は、各、130(%)、150(%)と非常に大きい値を示していること、運転経験時間数も最少であること等から、判断して、オペレータBは本除雪車の運転操作に習熟していないため、生体負担も著しく大きくなっていると考えられる。

実際、実験中同オペレータは、汗を顔や腕に、じつとりにじませ、ひどく緊張しきつている状態が観察され、実験終了後は疲労感を強く訴えていた。

### 3.6 対向車両が生体負担に及ぼす影響について

(図-8)は除雪車の走行状態について、横軸に1分間当りの対向車両数(台/分)、縦軸に脈拍増加数(回/分)を、オペレータ別にプロットしたものである。

(図-9)は、作業状態について、また(図-10)はジープの走行状態についての上図と同様の図である。同様に、(図-11)、(図-12)はいずれも、対向車両数(台/分)と、1分間当りのGSR数(回/分)の関係を、オペレータ別にプロットしたものであり、各、除雪車、ジープに関するものである。

ただし、対向車両数を数えるに当っては、自動車と対向した場合、通行人や自転車を追い抜いた場合、交叉点を通行した場合、停車中の自動車等を寄せた場合等を同等に取り扱っている。また、脈拍増加数は、安静時を基準としている。

以上の図から、次のように言える。

すなわち、オペレータの個人差により、異なつた傾向が認められ、バラツキは大きい。が、全体的に見れば、対向車両数と生体負担の間には正の相関が認められ、生体負担は対向車両が増えると増加すると言える。

### 3.7 脈拍と精神電流現象(GSR)の関係について

前述した通り、脈拍、精神電流現象(GSR)はいずれも、自律神経系の中樞の興奮や緊張を表わす有効な尺度であるが、本実験の観察や結果から、両者の相違、

関係について、以下に検討する。

また、観察した事項より、以下のよう可以说える。

「暗算」状態におけるGSRは、計算命令を出発して、0.1(秒)~0.3(秒)後に、ゆるやかなカーブの山形の波形が記録され、オペレータが答えを出し終り平静に戻るまでの間、2~3個の、漸次小形化する山形の波形が記録される。引き続いて、さらに、その出た答が正しいか否かを問い返すと、再び波形が記録される。

この様子が(図-13)の記録紙に示されている。計算命令を連続的に発して、オペレータに暗算させると、初め2回目位迄は命令に対応した数の、GSRの波形が現われるが、さらに命令の数が多くなると、波形の数は、命令の数に対応しなくなる。

これに似た傾向は、前図(図-11)、(図-12)に示されるように、対向車両数とGSRの間にも認められ、対向車両数が6(台/分)~8(台/分)以上になると、GSR数(回/分)は横ばいの状態を示している。

以上述べたように、GSRは、単発の、あるいはある程度時間間隔を置いた複数の刺激による生体負担(心身反応)を敏感に表現し、このような刺激とGSRの頻度との間には、正の相関性が認められるが、刺激の回数が一定の限度を越えると、GSRの頻度は、頭うちとなり、両者の間の相関性は認められなくなる。

一方、脈拍は、その性質上、GSRのように頻度のとく小さい、いわば単発に近い頻度の刺激に敏感に反応するようなことはないが、かなり長い時間、一定のレベルを維持する、あるいは、反復継続し、頻度の高い刺激に敏感に反応する。

また、除雪車の運転経験時間数と脈拍の間には、負の相関が認められるが、GSRとの間には、相関は認められない。

(図-14)は、脈拍とGSRの関係を、オペレータ別にプロットしたものであり、機種、運転状態の違いは区別されていない。ただし、脈拍は「安静」状態からの増加数を、GSRは、「準備」状態からの増加数を採っている。

同図に明らかなように、バラツキは大きいですが、総体的に見れば、脈拍とGSRの間には、正の相関が認められる。

以上、脈拍とGSRの相違、関係について述べたが、これを簡略にまとめると、(表-7)のようになる。

#### 4. 結 論

以上の考察から明らかにされた事項を以下に箇条書きにする。

- ① 本実験車、拡幅専用プロワ型高速ロータリ除雪の最大の特徴は、在来の同型式の除雪車の作業時速が、 $1\text{ (km/h)}$ ～ $3\text{ (km/h)}$ であるのに対し $20\text{ (km/h)}$ の高速を持っている。

車速が生体負担に及ぼす影響について、本実験では明確にすることができなかつたが、車速がほとんど $40\text{ (km/h)}$ 以下である本実験のような場合では、他の因子（情動、対向車両、リヤステアリングシステム、視準点等）が生体負担に及ぼす影響に比べて無視できるくらい小さいのではないかと考えられる。

- ② 実験開始前から、オペレータはすでに過緊張の状態に在る。これは、皮膚に貼り付けられたビックアップ類に異和感を感じたり、慣れない実験の奮闘気になされているためと考えられ、情動（感情の動き）の大きいオペレータほど緊張の度合は大きく、安静時における脈拍を基準にした場合の脈拍比で最高 $134\text{ (％)}$ に達するオペレータもあり、5人のオペレータの平均値は $111\text{ (％)}$ （これは、ジープを運転中の測定値の平均値に等しい）であつた。

- ③ 除雪作業は行なわないで単に走行する場合（以下「SR走行」と略記する）の生体負担は、脈拍比（安静時が基準）では、最高 $155\text{ (％)}$ 、最低 $103\text{ (％)}$ 、5人のオペレータの平均値は $123\text{ (％)}$ であつた。情動が大きく、運転経験時間数が少ないオペレータほど、生体負担は大きいと言える。

- ④ ジープ走行中（以下、「ジープ走行」と略記する）の生体負担は、脈拍比は最高 $119\text{ (％)}$ 、最低 $100\text{ (％)}$ であり、これらは各準備時における脈拍比の最高値、最低値より小さい。

5人のオペレータは皆、ジープの運転経験の豊富なヴェテランであり、運転経験年数の多少による運転技術の優劣はないと考えられるから、生体負担は、前項と同様、情動、運転機能に支配されており、特に情動が大きいほど生体負担は大きいと考えられる。

- ⑤ 除雪作業中（以下「SR作業」と略記する）の生体負担は、脈拍では最高 $184\text{ (％)}$ 、最低 $115\text{ (％)}$ 、5人のオペレータの平均値は $139\text{ (％)}$ 、GSR比（準備時が基準）の同じ平均値は $379\text{ (％)}$ であつた。

この場合もやはり、前項と同様、情動が大きく、運転経験時間数が少ないオペレータほど、生体負担は大きくなると考えられる。

- ⑥ 「ジープ走行」の場合の脈拍比の平均値は111(%)であり、これは準備中の脈拍比の平均値に等しく、「SR走行」、「SR作業」の各平均値より、各、12(%)、28(%)大きくなっている。

これらの諸数値から、除雪車を運転操作する場合の生体負担がジープを運転する場合に比べて、いかに大きいかが分る。

- ⑦ 拡幅除雪作業における操舵には、作業を行なわないで単に走行する場合以上に安定している心要があり、さらに、車の道路線形に対する追従の精度の高さが要求されるので、操舵動作を行なうオペレータには大きい生体負担がかかる。

(表-5)および(表-6)に示されるように、除雪作業中の生体負担は、単に走行する場合より、脈拍比で16(%)、GSR比で82(%)大きくなっている。

(いずれも5人のオペレータの平均値)

- ⑧ 拡幅除雪作業中の操舵(安定度、道路線形に対する追従の精度)が良好でない原因として

① 視準点の位置、方向および視準距離

② リヤステアリングシステム

の二つの機構的な要因が挙げられる。

① 視準点の位置、方向および視準距離

一般に、自動車の操舵は、視準点を数十m前方に定めて行なわれるが、拡幅除雪作業における操舵は、視準点をハンドル位置から見て左側の除雪装置左先端部(カッティンエッジ)近傍に定めて行なわれるので、視準距離は短かく、視準点は車速と等大の相対速度で近づいて来ることになるので、操舵の道路線形に対する追従の安定性、精度が低下すると考えられる。

これを、人間が連続して反射的に行なう場合の制御動作の立場から検討すると、オペレータは視準点からの変位(入力)の大きさに比例した大きさの操舵角(出力)を操舵系にフィードバックする比例動作と同時に、視準点からの変位(入力)の速度に比例した大きさの操舵角(出力)を操舵系にフィードバックする微分動作も行なっていると言える。

㊦ リヤステアリングシステム

一般に、自動車の操舵においてはドライバーが一定量の操舵の必要を感じてから、自動車のそれに対する遅れを検出するまでの間、色々な遅れの総和に等しい遅れ時間が存在するが、リヤステアリングには、フロントステアリングには認められないリヤステアリングに特有な遅れ時間が存在する。

人間・自動車系に存在する遅れ時間が大きくなればなるだけ、オペレータはその遅れを補償するために強い微分動作を行わなければならないのであり、機械の挙動をあらかじめ予想しながら操舵しなければならない。

㊧ 前項の、拡張除雪作業中のオペレータの生体負担は

㊦ 微分動作 ← 視準点の位置、方向および視準距離

㊧ 遅れ時間（または微分動作） ← リヤステアリング

という、相互に強い関係を持つ、2要因に支配されているとすることができる。

強い微分動作はオペレータに大きい生体負担を与え、疲労の蓄積が著しいことが知られているが、前述のように、除雪作業中の生体負担が、作業を行わないで走行する場合のそれよりも脈拍で16(%)、GSR比で82(%)（いずれも5人のオペレータの平均値）と大きくなっているのは、結局、操舵に強い微分動作を強いられる、除雪作業中のオペレータにかかる生体負担の定量的な表現値であると考えられる。

㊨ 操舵に強い微分動作が要求される、除雪作業中の生体負担は、本除雪車の運転経験時間数が増加するに伴って低減している。

これは、オペレータに不足している微分的機能がある限界があると言え、訓練によつて補なわれて行くことによると考えられる。

㊩ 生体負担と対向車両数の関係は、オペレータの個人差により、異なつた傾向が認められ、バラツキは大きいが、全体的に見れば両者の間には正の相関が認められ、生体負担は対向車両数が増えたと増すと考えられる。

## 5. あとがき

除雪作業中の高速ロータリ除雪車のオペレータの脈拍、精神電流現象(GSR)を測定することにより生体負担を知り、人間工学的な立場から、建設機械類の操作性改善のための一資料を得ようとする本実験は、第1回目の試みであつて、過去にポテンシャルの蓄積が希薄であること、機械的な実験とは様相を異にして測定技術がむづかしく、被測定者のコンディションに左右され易いこと等により、充分満足の行く成果を収めることができたとは言えない。

機械の性能をフルに発揮させて、運転技術の未熟な素人でも能率の良い作業を行なうことができるためには、人間と機械を一つの系として取り扱う人間工学的な観点から、機械の操作性を改善することが社会的要請とも言うことができるのであり、今後もさらに実験を発展させて行きたいと考えている。

本実験で今後に委ねられた事項として、

- ① 精神電流現象(GSR)ビツクアップの貼り付け、固定方法に工夫をして、ビツクアップのずり動きをなくすること。
- ② 速度と生体負担の関係を明らかにすること。

等が挙げられる。

終りに酷寒の中で労を惜しまれなかつた現場の方々、不快でつらい本実験の実験台を引き受けていただいたオペレータの方々に深謝いたします。

また、土木研究所機械研究室田中室長には、本報告書作成の指導をしていただいたこと、新潟国道工事事務所機械課沢田課長(元同研究所機械研究室研究員)には多大の援助をいただいたこと、土木研究所道路研究室満田研究員には測定器具の便宜を図っていただいたことを記して、深謝いたす次第です。

(実験協力者)

仙台技術事務所：深堀哲夫、岸忠男、星裕

山形国道工事事務所：落合周治

富山技術事務所：高橋岩一、中山桂、松井啓吾、柴田信一、村井伸一、青木鉄郎、

高木茂

上越国道工事事務所：高橋淳、毛利弘

同上事務所湯沢出張所：田辺芳郎

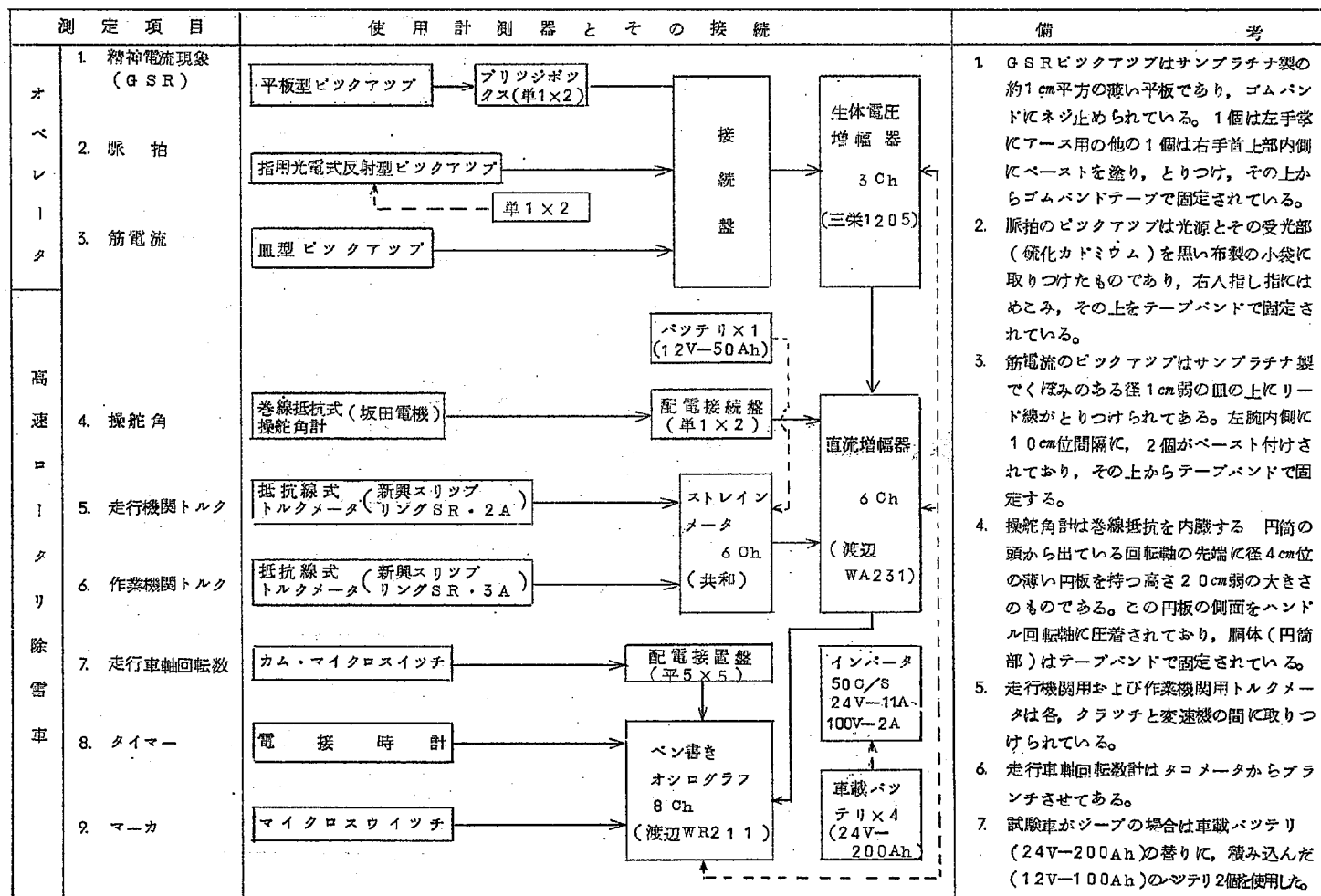
( 参 考 文 献 )

- (1) 高速ロータリ除雪車の性能について(第一報) ; 土木研究所資料, №407, S43.9
- (2) 運転者の生理的変化と疲労 ; 近藤武, 清水潤, 大久保晃夫 ;  
自動車技術, Vol117, №7, 1963
- (3) 疲労判定のための機能検査法 ; 桐原稔見編, 同文書院
- (4) 自動車運転中の連続血圧測定 —— 乗員の血圧変動と Personality との関係 ;  
万井正人, 井街悠, 他, いすず技報, №50
- (5) 心身反応の測定法とその解析 ; 大島正光, 谷島一嘉,  
自動車技術, Vol22, №7, 1968
- (6) 藤井, 井口 ; 科学, Vol31, 6, 7, 8, 9, S36
- (7) 運転車と自動車との動的特性から見た安全性 ; 藤井澄二, 井口雅二,  
自動車技術, Vol19, №6, 1965
- (8) ロータリ除雪車 (SR250, SR300) 軌跡の比較  
東北地方建設局仙台技術事務所, 検査報告書, S43
- (9) 操舵系の動特性の改善 —— 人が操舵する場合 —— ; 平尾収, 山田尚之  
自動車技術, Vol20, №11, 1966

( 表 - 1 ) オペレータの特徴

| オペレータ | 性 別 | 年 令 | 高速除雪車の<br>運転経験時間数 | 安静時心拍 | 体 格 | 健康状態 |
|-------|-----|-----|-------------------|-------|-----|------|
| A     | 男   | 28才 | 1510h             | 81回/分 | 小   | 良    |
| B     | 男   | 29  | 150               | 75    | 中   | 良    |
| C     | 男   | 23  | 40                | 75    | 大   | 良    |
| D     | 男   | 37  | 30                | 66    | 中   | 良    |
| E     | 男   | 35  | 20                | 64    | 中   | 良    |

(表-2) 測定項目および使用計測器とその接続



(表-3・1) 測定結果

| 試験番号 | オペレータ | 測定条件  |      |              | 1 分間当りの回数 |     |                  | 備考                                                   |
|------|-------|-------|------|--------------|-----------|-----|------------------|------------------------------------------------------|
|      |       | 車種    | 測定状態 | 車速<br>(km/h) | 脈拍        | GSR | 対向車両数<br>(計算命令数) |                                                      |
| 1    | A     | SR302 | 準備   |              | 74        | 6   |                  | (注) 左隣線の<br>(A:大型車)<br>(B:中型車)<br>(O:通行人)<br>(D:交叉点) |
| 2    | "     | "     | 暗算   |              | 86        | 5   | 1                |                                                      |
| 3    | "     | "     | "    |              | 74        | 6   | 2                |                                                      |
| 4    | "     | "     | 準備   |              | 89        | 6   |                  |                                                      |
| 5    | "     | "     | "    |              | 86        | 4   |                  | 喫煙直後                                                 |
| 6    | "     | "     | 暗算   |              | 100       | 8   | 4                |                                                      |
| 7    | "     | "     | 準備   |              | 89        | 4   |                  | 走行後休息                                                |
| 8    | "     | "     | 走行   | 30           | 91        | 13  | B×3 O×1          |                                                      |
| 9    | "     | "     | "    | 30           | 94        | 13  | B×2 O×1          | 人家連担                                                 |
| 10   | "     | "     | "    | 15           | 98        | 13  | B×4 O×1          |                                                      |
| 11   | "     | "     | "    | 30           | 92        | 8   | B×3 O×3          | 坂                                                    |
| 12   | "     | "     | "    | 30           | 93        | 11  | A×1 B×6          | 広い幅員                                                 |
| 13   | "     | "     | 作業   | 15           | 103       | 17  | B×2              | GSRの山の連続                                             |
| 14   | "     | "     | "    | 15           | 100       | 11  | K×1 O×1          | 同上                                                   |
| 15   | "     | "     | "    | 15           | 107       | 15  | A×1 B×4          | 同上                                                   |
| 16   | "     | "     | "    | 15           | 105       | 9   | B×2 O×1          | 人家連担                                                 |
| 17   | "     | "     | 走行   | 30           | 103       | 9   |                  |                                                      |
| 18   | "     | "     | "    | 25           | 100       | 16  | A×2 B×5          | 大型車多し、カーブ                                            |
| 19   | "     | "     | "    | 15           | 103       | 15  | B×5 O×11         | 繁華街                                                  |
| 20   | "     | "     | 作業   | 15           | 107       | 17  | A×1 B×4<br>O×1   |                                                      |
| 21   | "     | "     | 準備   |              | 88        | 3   |                  | 停車2分後                                                |
| 22   | "     | "     | 暗算   |              | 83        | 7   |                  |                                                      |
| 23   | "     | ジープ   | "    |              | 79        | 5   | 7                |                                                      |
| 24   | "     | "     | "    |              | 79        | 3   | 3                |                                                      |
| 25   | "     | "     | 走行   | 60           | 88        | 7   | A×5 B×4          |                                                      |
| 26   | "     | "     | "    | 15           | 89        | 7   | A×3 B×1<br>O×1   |                                                      |
| 27   | "     | "     | "    | 60           | 87        | 10  | A×1 B×7          |                                                      |
| 28   | B     | SR302 | 準備   |              | 81        | 7   |                  |                                                      |

(表-3・2) 測定結果

| 試験番号 | オペレーター | 測定条件  |      |              | 1分間当りの回数 |     |                    | 備考        |
|------|--------|-------|------|--------------|----------|-----|--------------------|-----------|
|      |        | 車種    | 測定状態 | 車速<br>(km/h) | 脈拍       | GSR | 対向車両数<br>(計算命令数)   |           |
| 29   | B      | SR302 | 準備   |              | 81       | 5   |                    |           |
| 30   | "      | "     | 走行   | 30           | 83       |     |                    |           |
| 31   | "      | "     | 暗算   |              | 94       |     |                    |           |
| 32   | "      | "     | 準備   |              | 97       |     |                    | 一時停車      |
| 33   | "      | "     | 作業   | 5            | 90       | 1.1 | A×1 B×1<br>C×1     |           |
| 34   | "      | "     | "    | 5            | 88       | 6   |                    |           |
| 35   | "      | "     | 走行   | 5            | 79       | 5   | B×1 C×1            | 上り坂       |
| 36   | "      | "     | "    | 5            | 78       | 12  | A×4 B×2            |           |
| 37   | "      | "     | "    | 5            | 84       | 6   | K×1 B×1            |           |
| 38   | "      | "     | 作業   | 15           | 113      | 12  |                    |           |
| 39   | "      | "     | "    | 15           | 87       | 18  | B×2                |           |
| 40   | "      | "     | "    | 15           | 94       | 12  |                    |           |
| 41   | "      | "     | 走行   | 30           | 97       | 7   |                    |           |
| 42   | "      | "     | "    | 30           | 93       | 9   | A×3 B×2            | 繁華街       |
| 43   | "      | "     | 暗算   |              | 87       | 8   | 3                  |           |
| 44   | "      | "     | 走行   | 15           | 85       | 15  | A×1 B×3            |           |
| 45   | "      | "     | 作業   | 10           | 90       | 7   | B×3                | GSRは読取り困難 |
| 46   | "      | "     | "    | 10           | 84       | 5   | B×5                |           |
| 47   | "      | "     | 暗算   |              | 88       | 10  |                    |           |
| 48   | "      | "     | 走行   |              | 90       | 18  | A×2 C×4            | 繁華街       |
| 49   | "      | "     | 作業   |              | 88       |     |                    |           |
| 50   | "      | ジープ   | 準備   |              | 91       | 4   |                    |           |
| 51   | "      | "     | 走行   | 5            | 87       | 6   | A×2 B×6            | 交通量多し     |
| 52   | "      | "     | "    | 15           | 88       | 12  | A×4 B×4<br>C×1 K×1 | 繁華街       |
| 53   | "      | "     | 暗算   |              | 95       | 7   | 5                  |           |
| 54   | "      | "     | 走行   | 5            | 90       | 8   | A×1 B×3            |           |
| 55   | "      | "     | "    | 30           | 92       | 10  | B×4                | 両側山迫る上り坂  |
| 56   | "      | "     | "    | 60           | 88       | 12  | A×1 B×12           |           |

(表-3.3) 測 定 結 果

| 試験番号 | オペレータ | 測 定 条 件 |      |           | 1 分 間 当 り の 回 数 |     |                  | 備 考      |
|------|-------|---------|------|-----------|-----------------|-----|------------------|----------|
|      |       | 車 種     | 測定状態 | 車 速       | 脈 拍             | GSR | 対向車両数<br>(計算命令数) |          |
| 57   | B     | ジープ     | 走 行  | 40 (km/h) | 89              | 9   | B×6 C×10 K×2     | 繁華街      |
| 58   | C     | SR302   | 準 備  |           | 98              | 6   |                  |          |
| 59   | "     | "       | "    |           | 94              | 5   |                  |          |
| 60   | "     | "       | 走 行  | 15        | 104             | 16  | A×1 K×1          | 発車直後     |
| 61   | "     | "       | "    | 15        | 93              | 18  | B×4 C×3 K×1      |          |
| 62   | "     | "       | "    | 15        | 95              | 14  | A×3 B×7 C×2      |          |
| 63   | "     | "       | "    | 20        | 93              | 15  | A×1 B×14 C×3     |          |
| 64   | "     | "       | "    | 30        | 93              | 17  | B×10             |          |
| 65   | "     | "       | 準 備  |           | 102             | 7   |                  |          |
| 66   | "     | "       | 暗 算  |           | 117             | 5   | 3                |          |
| 67   | "     | "       | "    |           | 130             | 11  | 2                |          |
| 68   | "     | "       | 準 備  |           | 98              | 2   |                  | 作業後      |
| 69   | "     | "       | "    |           | 98              | 4   |                  |          |
| 70   | "     | "       | 暗 算  |           | 107             | 8   | 4                |          |
| 71   | "     | "       | 作 業  |           | 97              | 21  | B×7              |          |
| 72   | "     | "       | "    |           | 116             | 14  | A×1 B×3 C×1      | カーブ      |
| 73   | "     | "       | "    |           | 117             | 24  | A×1 B×1          |          |
| 74   | "     | "       | "    |           | 110             | 19  | A×3 B×9 ●×2      |          |
| 75   | "     | ジープ     | 準 備  |           | 78              | 1   |                  |          |
| 76   | "     | "       | "    |           | 79              | 1   |                  |          |
| 77   | "     | "       | 走 行  | 5         | 79              | 10  | A×1 B×1          |          |
| 78   | "     | "       | "    | 5         | 82              | 8   |                  |          |
| 79   | "     | "       | "    | 15        | 84              | 11  | A×1 K×1          | 繁華街入口カーブ |
| 80   | "     | "       | "    | 30        | 89              | 12  | A×5 B×3 K×1      | 繁華街      |
| 81   | "     | "       | "    | 40        | 85              | 1   | C×1              | カーブ上り坂   |
| 82   | "     | "       | "    | 40        | 82              | 4   | A×3 B×3          |          |
| 83   | "     | "       | 準 備  |           | 82              | 1   |                  | 停車直後     |
| 84   | "     | "       | "    |           | 79              | 1   |                  |          |

(表-3・4) 測定結果

| 試験番号 | オペレータ | 測定条件  |      |           | 1 分間当りの回数 |     |                  | 備考        |
|------|-------|-------|------|-----------|-----------|-----|------------------|-----------|
|      |       | 車種    | 測定状態 | 車速        | 脈拍        | GSR | 対向車両数<br>(計算命令数) |           |
| 85   | O     | ジープ   | 走行   | 40 (Km/h) | 80        | 1   | A×4 B×2          | 築華街       |
| 86   | "     | "     | "    | 40        | 93        | 11  | B×2 K×1          |           |
| 87   | "     | "     | 準備   |           | 81        | 0   |                  |           |
| 88   | "     | "     | "    |           | 82        | 0   |                  |           |
| 89   | D     | SR302 | "    |           | 69        | 11  |                  |           |
| 90   | "     | "     | "    |           | 70        | 7   |                  | 一時停止      |
| 91   | "     | "     | "    |           | 80        | 16  |                  |           |
| 92   | "     | "     | 走行   | 5         | 81        | 19  |                  |           |
| 93   | "     | "     | 準備   |           | 66        | 4   |                  |           |
| 94   | "     | "     | "    |           | 68        | 4   |                  |           |
| 95   | "     | "     | 作業   | 15        | 71        | 14  |                  | 一時停止      |
| 96   | "     | "     | 準備   |           | 68        | 5   |                  |           |
| 97   | "     | "     | 暗算   |           | 74        | 9   |                  |           |
| 98   | "     | "     | 準備   |           | 68        | 8   |                  |           |
| 99   | "     | "     | 作業   |           | 70        | 11  |                  |           |
| 100  | "     | "     | "    |           | 76        | 11  |                  | 発車待ちでイライラ |
| 101  | "     | "     | "    |           | 82        | 11  |                  |           |
| 102  | "     | "     | 走行   |           | 68        | 6   |                  |           |
| 103  | "     | "     | "    |           | 68        | 3   |                  |           |
| 104  | "     | ジープ   | 準備   |           | 63        | 2   |                  |           |
| 105  | "     | "     | 暗算   |           | 83        | 8   | 4                | 交通量多し     |
| 106  | "     | "     | 走行   |           | 64        | 7   | A×1 B×1          |           |
| 107  | "     | "     | "    |           | 63        | 4   |                  |           |
| 108  | "     | "     | "    |           | 65        | 5   | B×1              |           |
| 109  | "     | "     | "    |           | 68        | 5   | A×3 B×1          |           |
| 110  | "     | "     | "    |           | 70        | 5   | A×7              |           |
| 111  | "     | "     | 準備   |           | 62        | 1   |                  |           |

(表-3・5) 測定結果

| 試験番号 | オペレータ | 測定条件  |      |        | 1分間当りの回数 |     |                  | 備考                                             |
|------|-------|-------|------|--------|----------|-----|------------------|------------------------------------------------|
|      |       | 車種    | 測定状態 | 車速     | 脈拍       | GSR | 対向車両数<br>(計算命令数) |                                                |
| 112  | E     | SR302 | 暗算   | (km/h) | 97       |     | 5                | 一時停止                                           |
| 113  | "     | "     | 作業   | 5      | 122      |     |                  |                                                |
| 114  | "     | "     | "    | 10     | 124      |     |                  |                                                |
| 115  | "     | "     | "    | 15     | 127      |     |                  |                                                |
| 116  | "     | "     | 準備   |        | 117      |     |                  |                                                |
| 117  | "     | "     | 作業   | 5      | 109      |     |                  |                                                |
| 118  | "     | "     | "    | 10     | 112      |     |                  |                                                |
| 119  | "     | "     | "    | 15     | 114      |     |                  |                                                |
| 120  | "     | "     | 暗算   |        | 100      |     |                  | GSRの読取り困難<br>停車直後                              |
| 121  | "     | "     | 走行   |        | 99       |     |                  |                                                |
| 122  | "     | "     | 準備   |        | 90       |     |                  |                                                |
| 123  | "     | "     | "    |        | 92       |     |                  |                                                |
| 124  | "     | ジープ   | 暗算   |        | 75       |     | 4                |                                                |
| 125  | "     | "     | 走行   | 5      | 64       |     |                  | カーブの多い山地道路<br>交通量多し、夕闇迫る<br>停車後、待ちくたびれ<br>イライラ |
| 126  | "     | "     | "    | 25     | 79       |     |                  |                                                |
| 127  | "     | "     | "    | 40     | 82       |     |                  |                                                |
| 128  | "     | "     | "    | 40     | 80       |     |                  |                                                |
| 129  | "     | "     | 準備   |        | 76       |     |                  |                                                |

(表-4) 車速と脈拍および相関係数

| 条件    |     | オペレータ |       |       |       |       |
|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
|       |     | A     | B     | C     | D     | E     |
| SR走行  | 脈拍  | -0.56 | 0.77  | -0.42 | -0.87 |       |
|       | GSR | -0.51 | 0.34  | 0.73  | -0.94 |       |
| SR作業  | 脈拍  |       | 0.22  |       | 0.48  | 0.31  |
|       | GSR |       | 0.61  |       | 0.52  | -0.33 |
| ジープ走行 | 脈拍  | -0.87 | -0.56 | -0.89 | 0.86  | 0.94  |
|       | GSR | 0.50  | 0.62  | -0.51 |       | 0.92  |

(有意水準10%)

(表-5) 各測定状態における脈拍

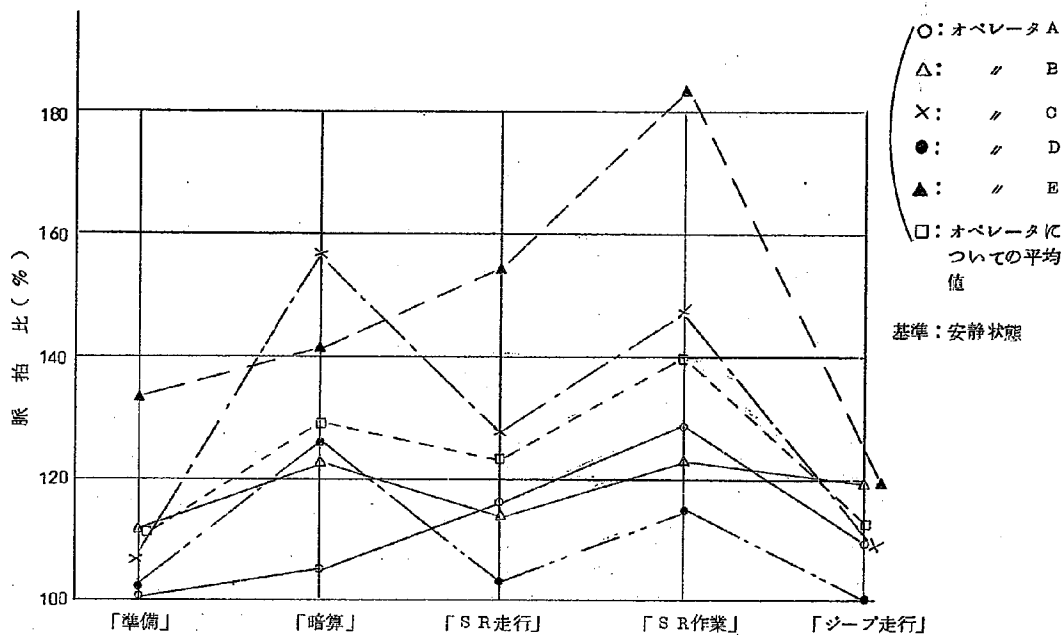
| オペレータ | 安静時の脈拍 | 単<br>位    | 「安静」時を基準とした場合の脈拍 |     |        |        |                 |       | 「ジープ走行」時を基準とした場合の脈拍 |        |
|-------|--------|-----------|------------------|-----|--------|--------|-----------------|-------|---------------------|--------|
|       |        |           | 準 備              | 暗 算 | S R 走行 | S R 作業 | 「SR走行」と「SR作業」の差 | ジープ走行 | S R 走行              | S R 作業 |
| A     | 81     | 測定値 (回/分) | 82               | 80  | 94     | 104    |                 | 88    | 94                  | 104    |
|       |        | 増加値 (回/分) | 1                | -1  | 13     | 23     |                 | 7     | 7                   | 16     |
|       |        | 比 ( % )   | 101              | 98  | 116    | 128    | 12              | 109   | 107                 | 118    |
| B     | 75     | 測定値 (回/分) | 84               | 92  | 86     | 92     |                 | 89    | 86                  | 92     |
|       |        | 増加値 (回/分) | 9                | 17  | 11     | 17     |                 | 14    | -3                  | 6      |
|       |        | 比 ( % )   | 112              | 123 | 115    | 123    | 8               | 119   | 97                  | 119    |
| C     | 75     | 測定値 (回/分) | 80               | 118 | 96     | 110    |                 | 82    | 96                  | 110    |
|       |        | 増加値 (回/分) | 5                | 43  | 21     | 35     |                 | 7     | 14                  | 28     |
|       |        | 比 ( % )   | 107              | 157 | 128    | 147    | 19              | 109   | 117                 | 134    |
| D     | 66     | 測定値 (回/分) | 67               | 83  | 68     | 76     |                 | 66    | 68                  | 76     |
|       |        | 増加値 (回/分) | 1                | 17  | 2      | 10     |                 | 0     | 2                   | 8      |
|       |        | 比 ( % )   | 102              | 126 | 103    | 115    | 12              | 100   | 103                 | 115    |
| E     | 64     | 測定値 (回/分) | 86               | 91  | 99     | 118    |                 | 76    | 99                  | 118    |
|       |        | 増加値 (回/分) | 22               | 27  | 35     | 54     |                 | 12    | 23                  | 19     |
|       |        | 比 ( % )   | 134              | 142 | 155    | 184    | 29              | 119   | 130                 | 155    |
| 平均値   |        | 比 ( % )   | 111              | 129 | 123    | 139    | 16              | 111   | 111                 | 119    |

(表-6) 各測定状態における精神電流現象 (G S R)

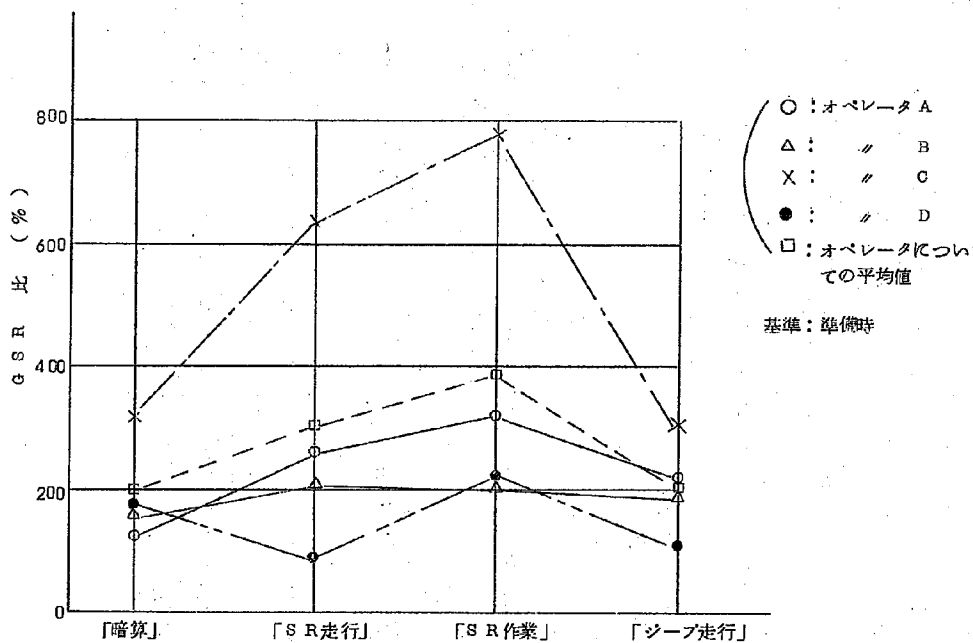
| オペレータ | 準備時の<br>G S R<br>(回/分) | 単<br>位      | 「準備」時を基準とした場合の G S R |        |        |                     |       | 「ジープ走行」を基準<br>とした場合の G S R |        |
|-------|------------------------|-------------|----------------------|--------|--------|---------------------|-------|----------------------------|--------|
|       |                        |             | 暗 算                  | S R 走行 | S R 作業 | 「SR走行」と<br>「SR作業」の差 | ジープ走行 | S R 走行                     | S R 作業 |
| A     | 4.3                    | 測定値 (回/分)   | 5.1                  | 11.0   | 13.8   |                     | 9.0   | 11.0                       | 13.8   |
|       |                        | 増 加 値 (回/分) | 0.8                  | 6.7    | 9.5    |                     | 4.7   | 2.0                        | 4.8    |
|       |                        | 比 ( % )     | 119                  | 256    | 321    | 65                  | 209   | 122                        | 153    |
| B     | 5.0                    | 測定値 (回/分)   | 8.3                  | 10.3   | 10.1   |                     | 9.5   | 10.3                       | 10.1   |
|       |                        | 増 加 値 (回/分) | 3.3                  | 5.3    | 5.1    |                     | 4.5   | 0.8                        | 0.6    |
|       |                        | 比 ( % )     | 116                  | 206    | 202    | -4                  | 190   | 108                        | 106    |
| C     | 2.5                    | 測定値 (回/分)   | 8.0                  | 16.0   | 19.5   |                     | 7.5   | 16.0                       | 19.5   |
|       |                        | 増 加 値 (回/分) | 5.5                  | 13.5   | 17.0   |                     | 5.0   | 8.5                        | 11.5   |
|       |                        | 比 ( % )     | 320                  | 640    | 780    | 140                 | 300   | 213                        | 260    |
| D     | 5.1                    | 測定値 (回/分)   | 8.7                  | 4.5    | 11.0   |                     | 5.1   | 4.5                        | 11.0   |
|       |                        | 増 加 値 (回/分) | 3.6                  | -0.6   | 5.9    |                     | 0     | -0.6                       | 5.9    |
|       |                        | 比 ( % )     | 171                  | 88     | 216    | 128                 | 100   | 88                         | 216    |
| 平均値   |                        | 比 ( % )     | 194                  | 298    | 380    | 82                  | 200   | 133                        | 184    |

(表-7) 脈拍と精神電流現象(GSR)の比較

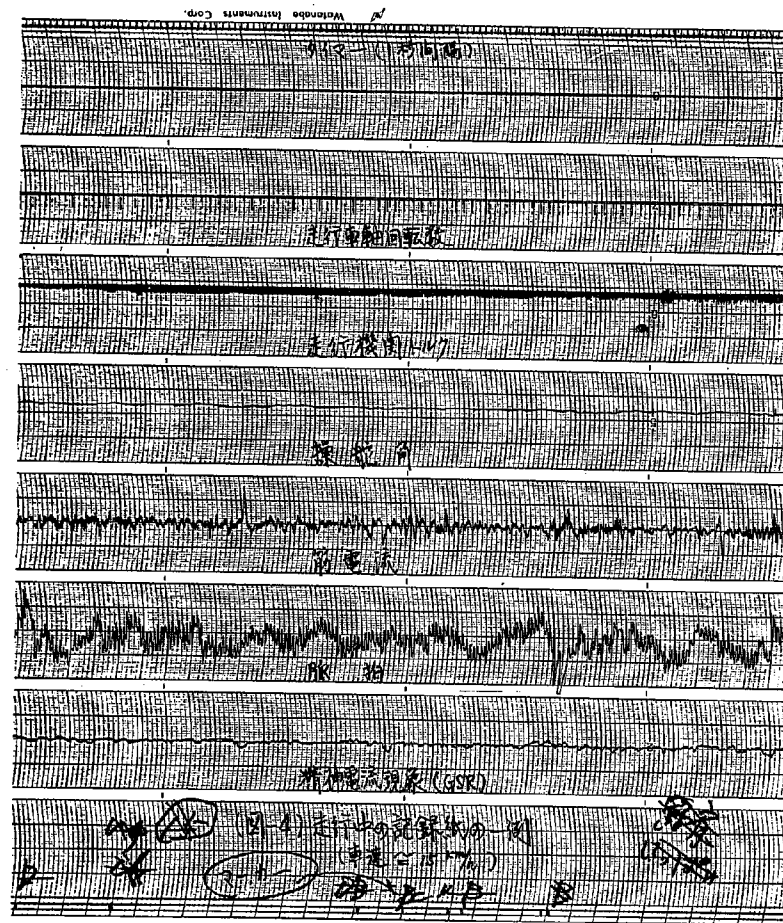
| 脈 拍                                                                                                                                                                                                                | 精神電流現象 ( G S R )                                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 長い間一定レベルを維持する<br/>あるいは、反復継続する刺激による<br/>負担 (あるいは情動) を敏感に表わ<br/>す。</li> <li>2. 対向車両数と正の相関を示す。</li> <li>3. 除雪車の運転経験時間数と負の相関<br/>を示す。</li> <li>4. G S R と正の相関がある。</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 特に単発の刺激による負担 (あるい<br/>は情動) を敏感に表わす。</li> <li>2. 同 左</li> <li>3. 除雪車の運転経験時間数とは相関が<br/>ない。</li> <li>4. 脈拍と正の相関がある。</li> </ol> |



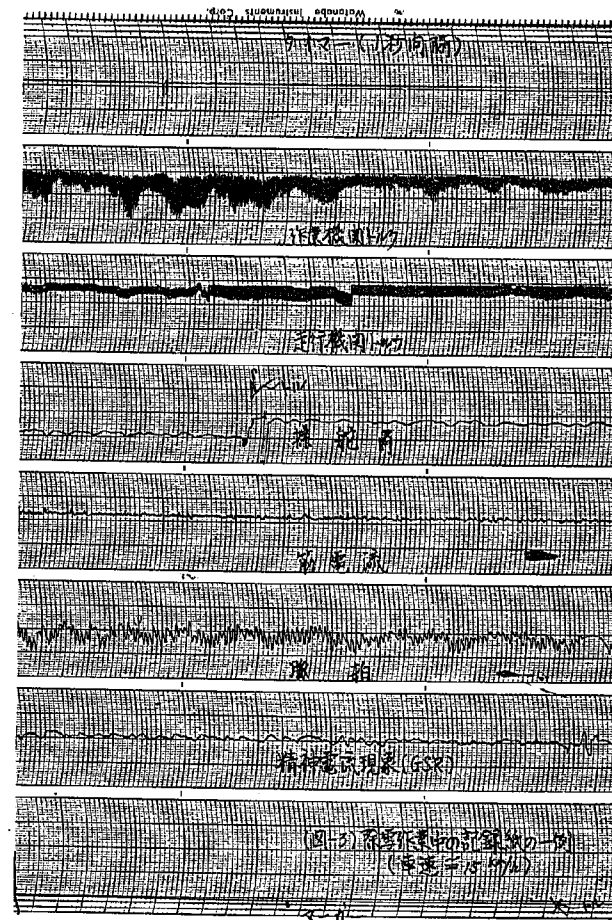
(図-1) 測定状態による脈拍比の変化



(図-2) 測定状態による精神電流現象(GSR)比の変化

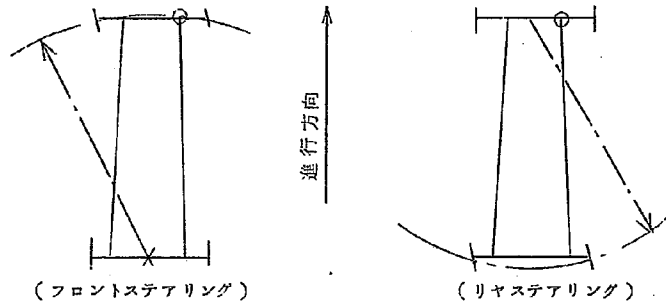


( 図 - 4 ) 走行中の記録紙の一例  
( 車速  $\cong 15 \text{ km/h}$  )

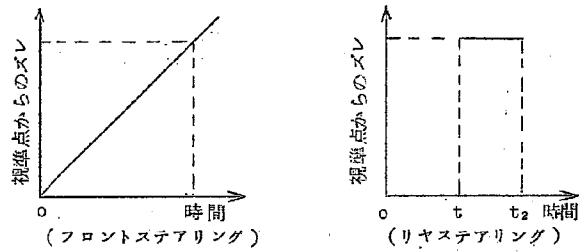


( 図 - 3 ) 除雪作業中の記録紙の一例  
( 車速  $\cong 15 \text{ km/h}$  )

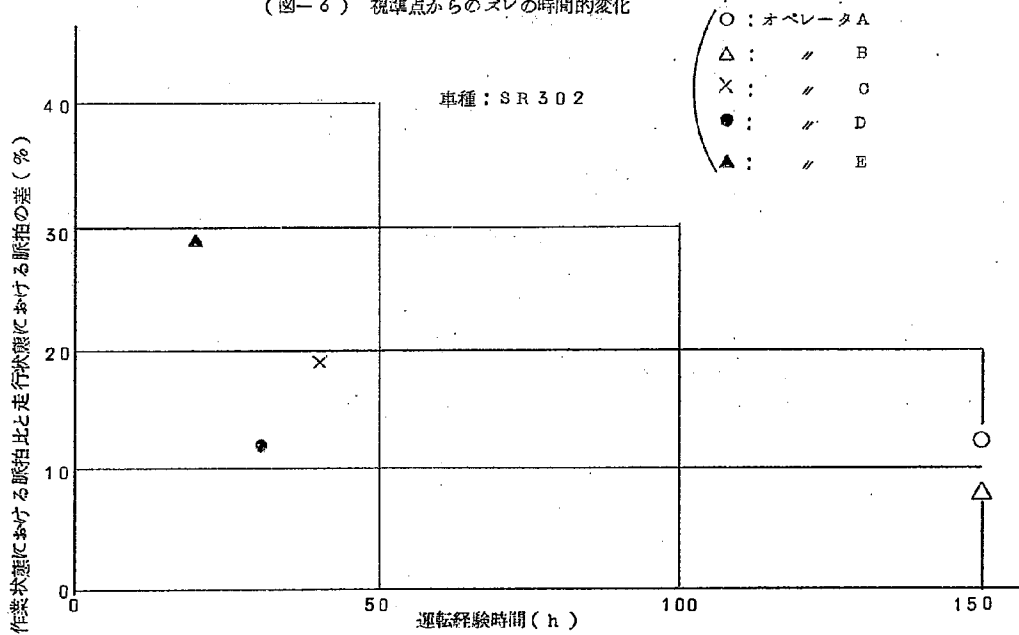
(○:オペレータ  
X:回転中心)



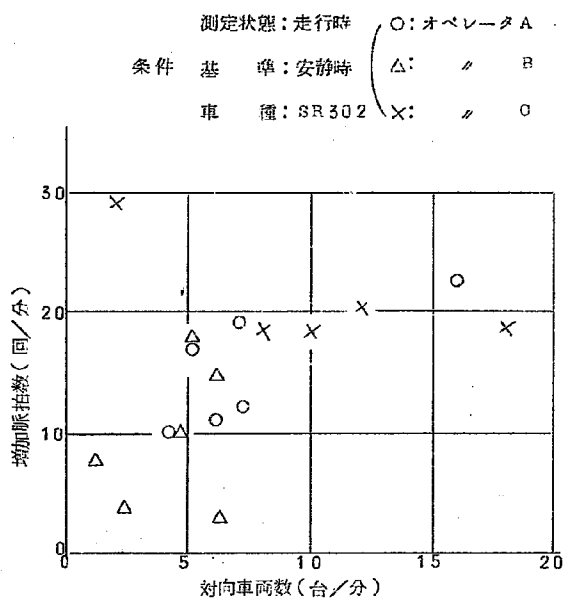
(図-5) フロントステアリングとリアステアリングの模型説明図



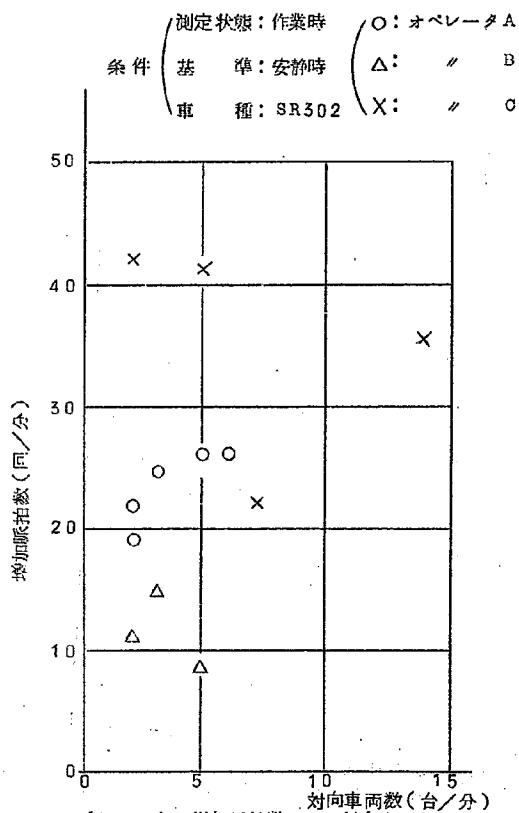
(図-6) 視準点からのズレの時間的変化



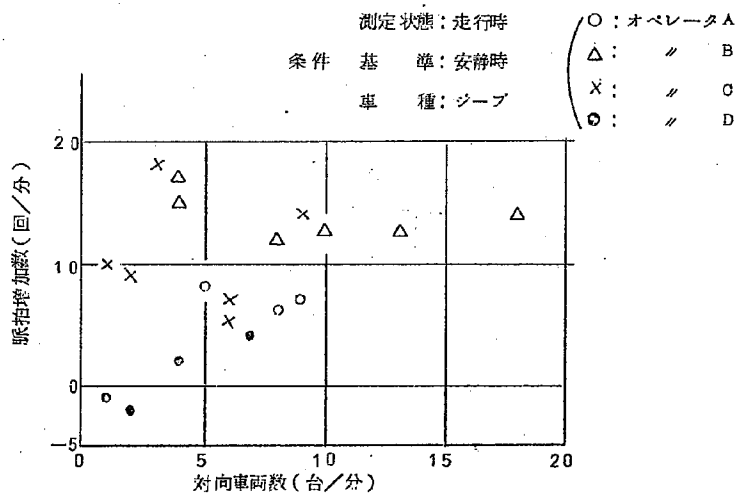
(図-7) 作業状態における脈拍比と走行状態における脈拍比の差 運転経験時間



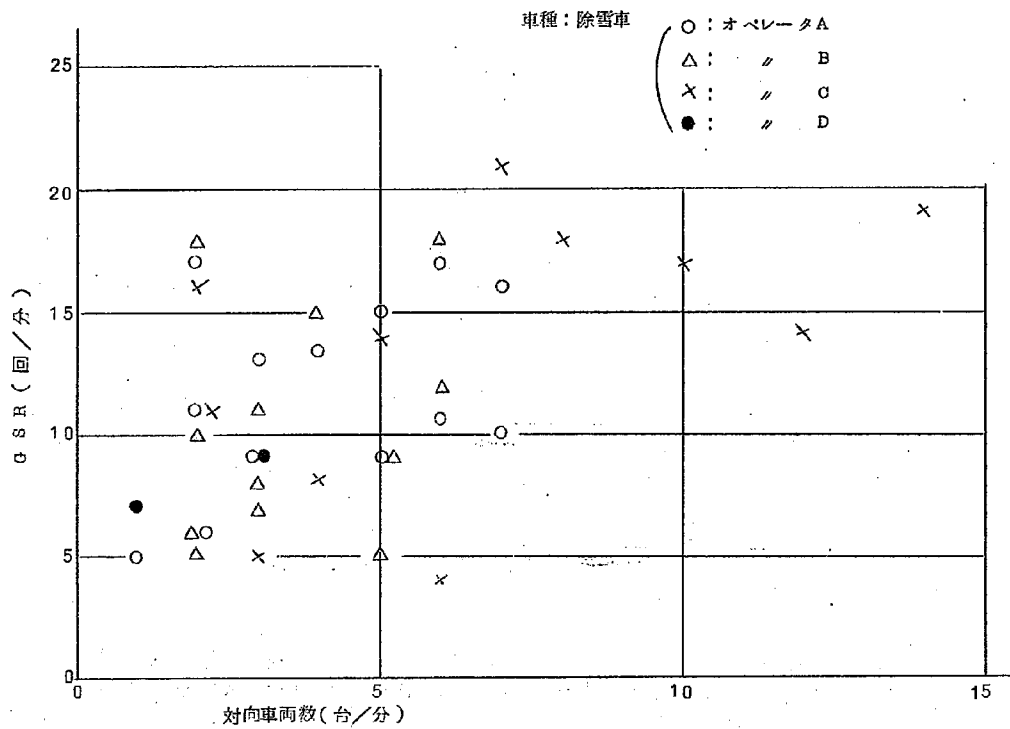
(図-8) 増加脈拍数——対向車両数



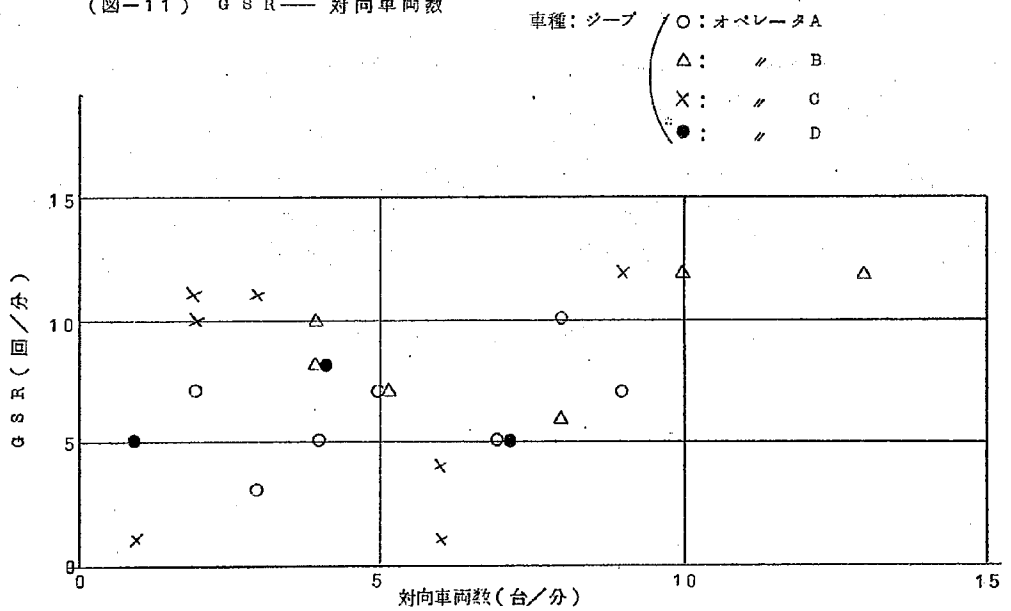
(図-9) 増加脈拍数——対向車両数



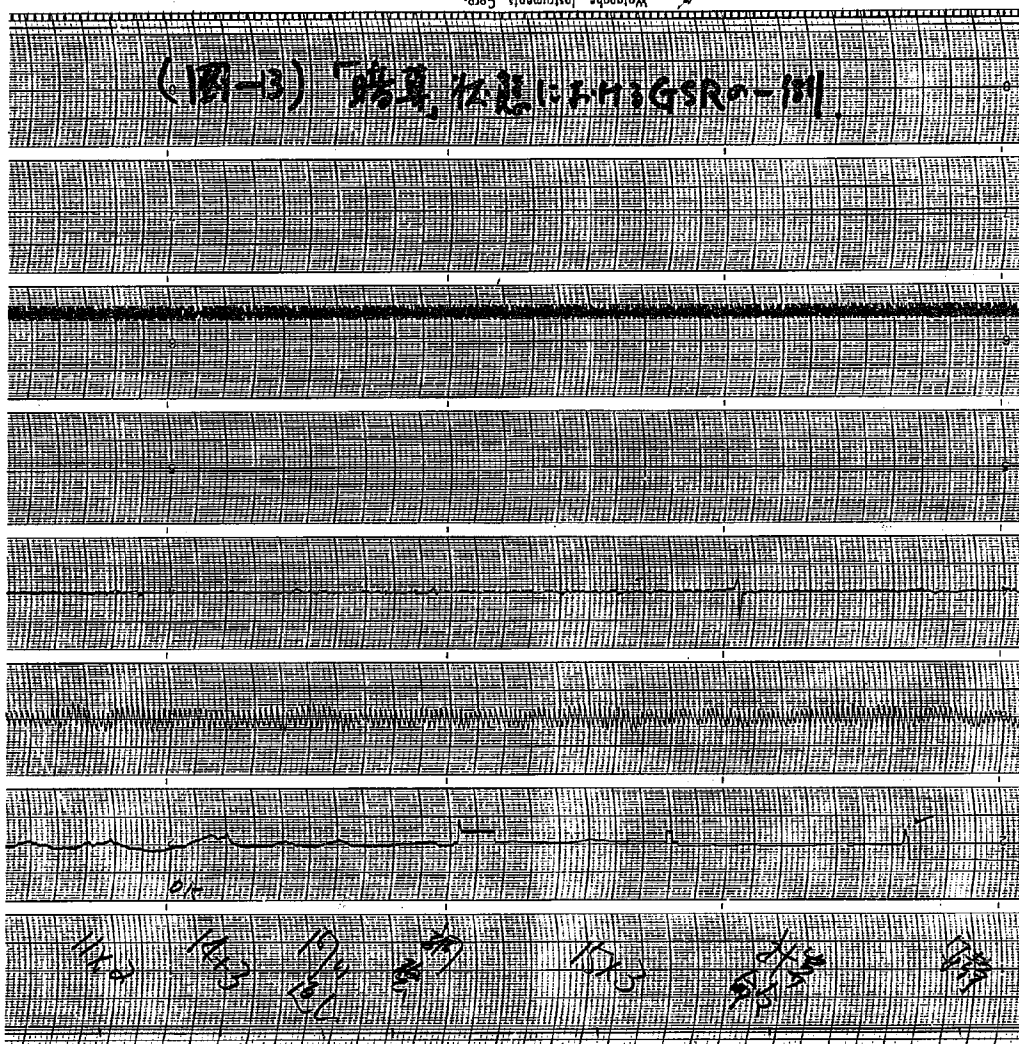
(図-10) 脈拍増加数——対向車両数



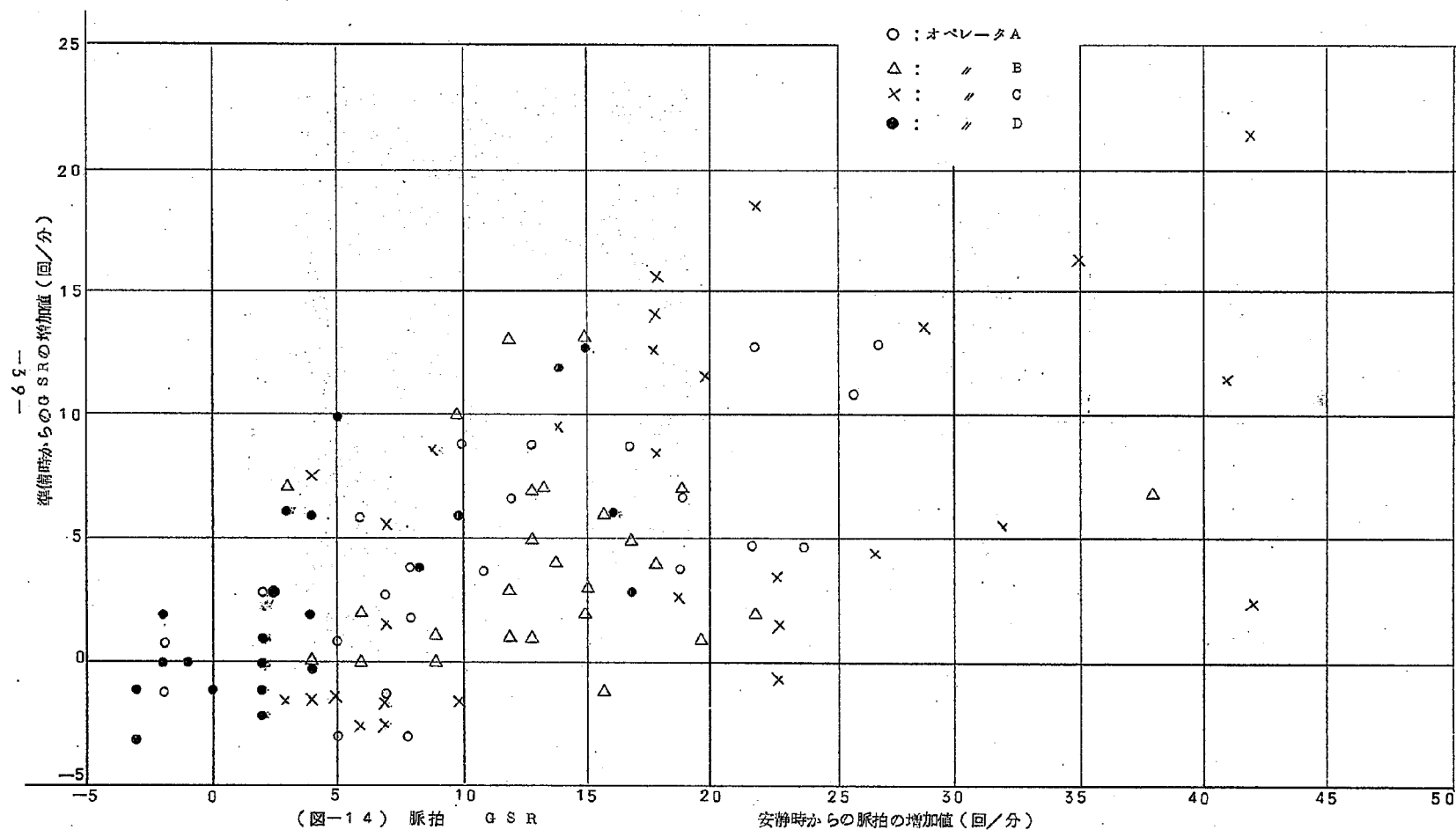
(図-11) GSR — 対向車両数



(図-12) GSR — 対向車両数



( 図 - 13 ) 「暗算」状態における G S K の一例

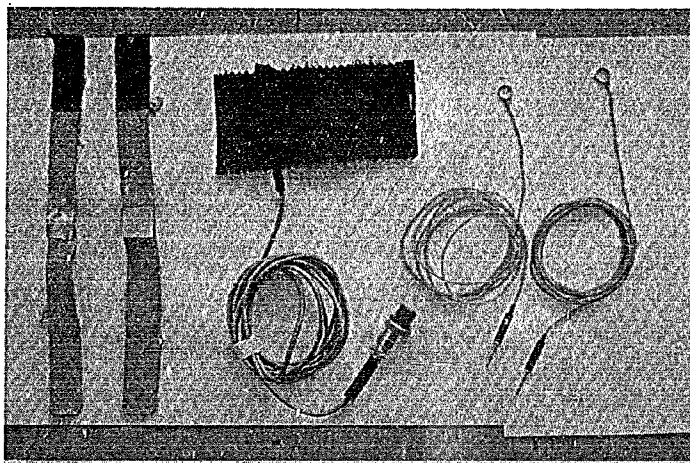




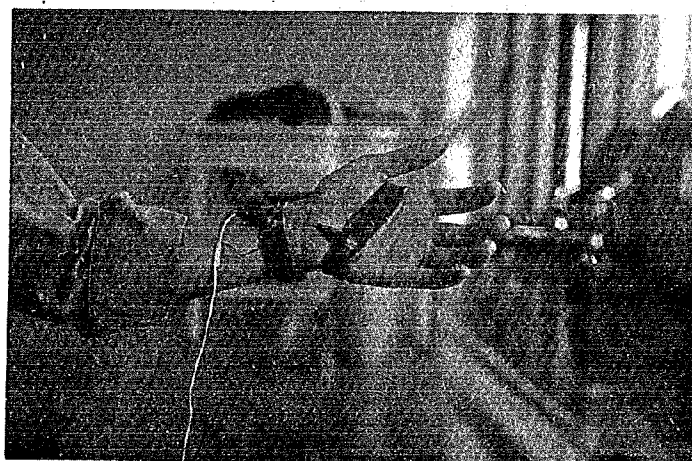
(写真-1) 高速ロータリ除雪車の外観



(写真-2) 実験の様子



(写真-3) 各種ピックアップ  
 左：精神電流現象(GSR)用  
 中：脈波用  
 右：筋電流用



(写真-4) 精神電流現象ピックアップ取付状況



(写真-5) 脈波ピックアップ取付状況



(写真-6) 操航角計取り付け状況