

トラクタのスラローム旋回における オペレータの操舵仕事の評価

遠藤 俊三・西村 功・笹尾 彰

On the Evaluation of the Steering Labor of Tractor Operator

Shunzo ENDO, Isao NISHIMURA, Akira SASAO

Experimental works were carried to evaluate the amount of steering labor of a tractor operator. The torque meter to measure the steering torque was attached to the steering wheel of the tractor, and the operator's energy consumption was calculated by the analysis of the breathing air. At the same time pulse rate and breathing rate were recorded by FM telemeter.

1. The operator's pulse rate and breathing rate were parallel to the "Relative Metabolic Ratio" (R. M. R) of steering labor.

2. Efficiency of steering labor was calculated as the ratio of the amount of steering labor to operator's consumption. These efficiencies increased with R. M. R.

3. Standard deviation, coefficient of variation, and correlation coefficient verified variance among different steerings.

4. Auto correlation coefficient of steering horse-power showed characteristics of the steering labor.

5. Amplitude and phase-angle in the harmonic analysis of steering labor characterised the steering torque and angle.

I. 緒 言

トラクタ作業を考える場合、トラクタがなす仕事は、オペレータが操舵あるいは調整などの仕事をトラクタに与えることによっておこなわれることは明らかであって、現在のところ、オペレータによる操舵や調整などの人力仕事を欠かすことはできない。

従来、考えられているトラクタの作業効率は、単位時間あたりのトラクタの作業量を主としているが、ここに、トラクタ作業はオペレータの仕事によっておこなわれるという上述の前提条件を入れるならば、トラクタの作業を評価する方法として、オペレータがトラクタを操舵し、調整するための仕事量とトラクタが外部になす仕事量との関係をもって、一つの効率を考えることができる。

一方において、オペレータがトラクタに与える操舵、調整の仕事は、オペレータが自身のエネルギーを消費することによってなされるものであることから、この間にある量的関係を知ることによって、オペレータの仕事量を評価することが可能となる。

今、トラクタが外部になす仕事量をほぼ一定に規制しておいて、そのためにトラクタに加えられるオペレータの仕事量と、オペレータの身体エネルギー消費量を計測することによりオペレータの仕事量を評価することができることになる。

本報告においては、以上の考え方から、トラクタをスラローム一定コース上を走行させるように操舵したとき、オペレータが操舵に要する仕事を、トラクタステアリングホイールに取付けた操舵力角計から求め、一方オペレータの呼気ガス分析をおこなって、オペレータの内部エネルギー消費仕事を求め、この両者を比較することによってオペレータの操舵仕事の効率を算出した。同時にオペレータの心拍数、呼吸数の遠隔計測をおこなった。この実験の遂行には当研究室須藤繁雄技官に多大の協力を得たので、ここに深謝する。

II. 実験方法

1. 供試トラクタ：FIAT トラクタ（40 PS 機関搭載）、SHIBAURA トラクタ（20 PS 機関搭載）各1台。いずれもホイールトラクタであり、実験には作業機やタイヤ附属品はつげなかった。

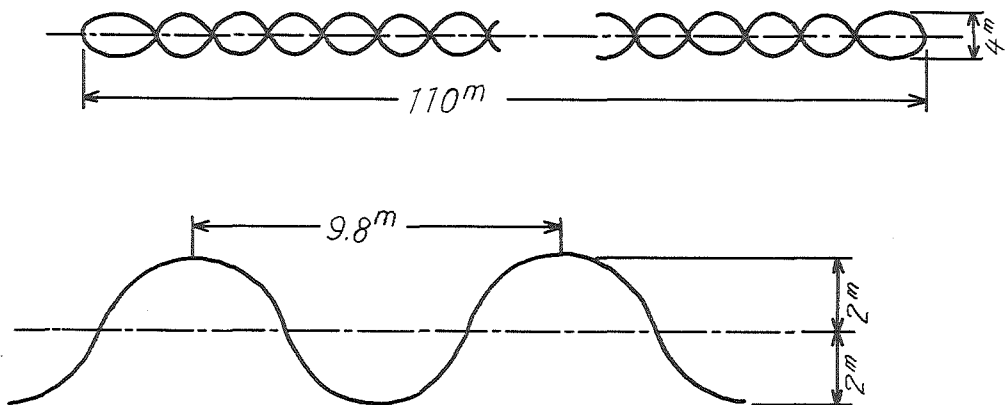


Fig. 1. Slalom turning course

2. 実験場所：大学構内アスファルト舗装路。
3. オペレータ：3名（年齢42, 35, 23才）。
4. トラクタの走行：ピッチ9.8m, 振巾左右2mのスラローム巡回コースで、直線110mの始端、終端におおの巾6mの旋回場所があり、実験にはこのコースを2往復した。実験区名は Table 1 のとおりである。

Table 1. Tractor speeds on experiment

NAME of Experiment	Name of tractor	RPM of tractor Engine	Change of transmission	Speed of tractor (m/sec)
FIAT 1500	FIAT 415	1500	4 th	1.39
FIAT 1000	FIAT 415	1000	4 th	0.93
SHIBAURA 4	SHIBAURA S1100	2000	4 th	1.65
SHIBAURA 3	SHIBAURA S1100	2000	3 rd	1.19

5. 測定器機：新興通信製操舵力角計、共和電業製6チャンネル動歪計、同自記電磁オシログラフ、柴田化学製呼気ガス分析装置一式、三菱電機製テレメータ装置。

オペレータのエネルギー消費量を知るためにオペレータは呼気ガス採取マスクをつけ、背負ったダグラスバッグと蛇管でつないで呼気を採取する。オペレータの心拍数と呼吸数をテレメー

タリングするために、予め胸部3カ所に貼付した電極間に発生する心拍動による誘導電位差と、腹部にまたいだ炭素粒抵抗体を呼吸によって伸縮させ、発生する電圧変化とをFM-FM送信する小型送信機を腰につけ、実験室内に置いたFM受信機で受信し、機波信号を電磁オンログラフに自記させた。

操舵力角計は操舵に要するトルクと操舵角の変化をストレージンに変換し、それに応じた出力信号をケーブルで増巾器に導き記録した。写真は測定中の光景である。



Fig. 2. Operator with mask and bag

III. 結果および考察

1. 操舵仕事の効率

Fig. 3は操舵力、操舵角の記録例の一部である。

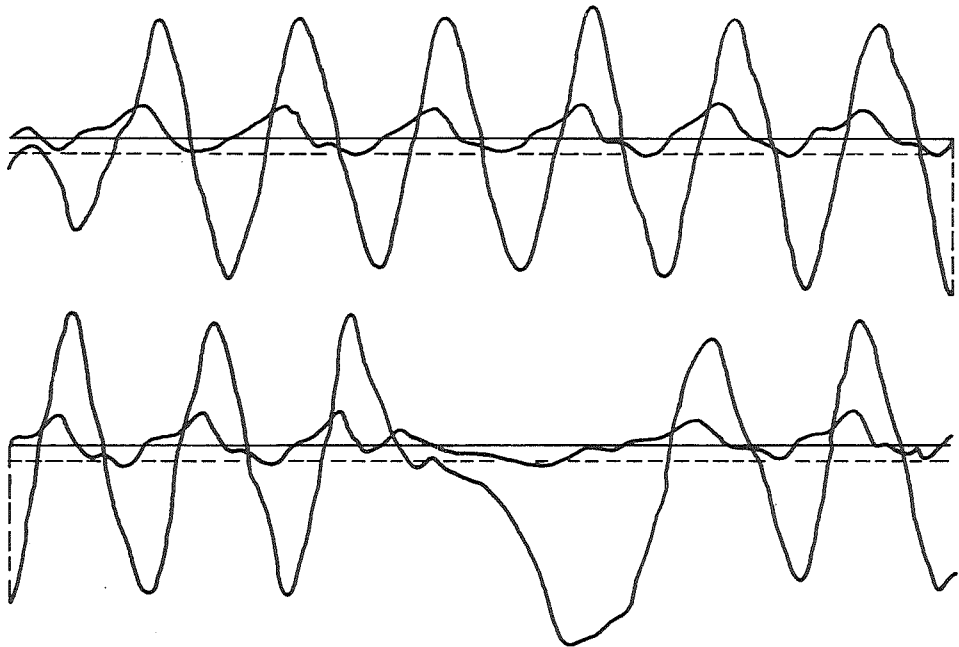


Fig. 3. A sample of the record of steering torque and angle

振巾の大きい脈動は操舵角の変化を、小さいものは操舵トルクの変化を示す。この記録例はコースを一行程半したもので、トラクタはスタートしてから360°の旋回をして復路を走行するが、その間スラローム旋回を繰返すから、操舵トルク、操舵角はともに周期を示している。

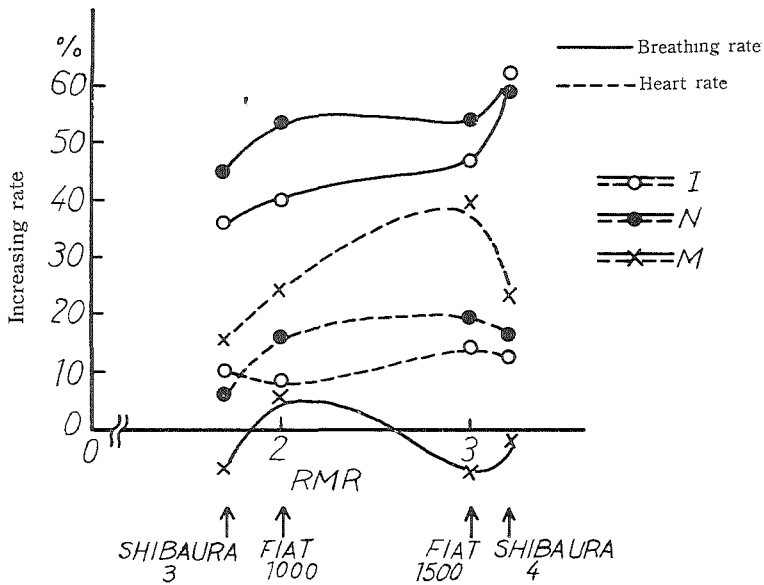


Fig. 4. Heart and breathing rate of operator depend on R. M. R

Fig. 4 はオペレータの心拍数と呼吸数が作業強度によって変化する状況を示すものである。トラクタ操舵中には心拍数、呼吸数ともに安静時に比べて大巾に増加するが、その増加割合は実験開始後急に大きくなり、その後は増加は少なくなる。心拍数、呼吸数記録チャートから20秒ごとに数を読みとり、その平均値と、予め測定しておいた安静時のそれらとの比を、それぞれの平均的增加率とした。横軸には呼気ガス分析によって得た実験中の酸素消費量と、予め測定しておいた安静時の酸素消費量とから下式によって算出したエネルギー代謝率 (Relative metabolic ratio) R. M. R をとった。

$$R. M. R = \frac{\text{作業時酸素消費量} - \text{安静時酸素消費量}}{\text{基礎代謝値}} = \frac{\text{労働代謝値}}{\text{基礎代謝値}}$$

R. M. R の算出に用いた基礎代謝値については、直接測定が困難であるので、被験者の体重、身長から体表面積を算出し、それによって日本人の標準算定値を求めて用いた。R. M. R は SHIBAURA 3, FIAT 1000, FIAT 1500, SHIBAURA 4 の順に大きくなり、R. M. R はほぼ 1.7, 2.0, 3.0, 3.2 であった。トラクタの速度が大きいほど R. M. R が大きくなっているのは、スラローム旋回走行においては走行速度が大きいほど、操舵仕事に大きいエネルギーを消費することを示している。

さらに、心拍数と呼吸数の増加率は、ほぼ作業強度の増大とともに増加していることは上述と同じく、トラクタの走行速度が大きくなるほど、オペレータの操舵仕事量が大きくなり、消費エネルギーが増加することを示している。

Fig. 5 は、操舵仕事の効率と作業強度との関係を示す。操舵仕事の効率は下記によって定義する。

$$\text{操舵仕事の効率} = \frac{\text{トラクタ操舵の仕事量}}{\text{労働代謝エネルギー}}$$

オペレータは操舵仕事 (output) のためには呼吸によるエネルギー (input) を必要としてい

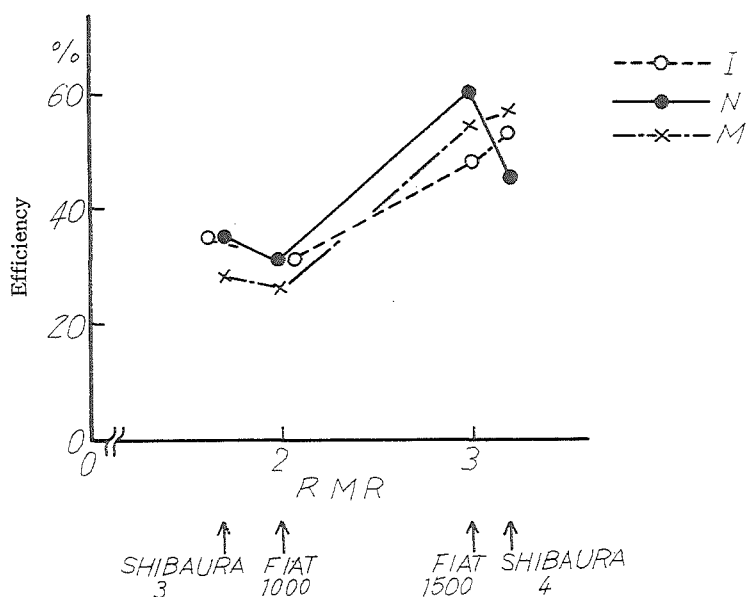


Fig. 5. Efficiency of operator's steering labor

るので、この output と input の比率をもって操舵仕事の効率とした。

この効率と作業強度の間には R. M. R が 1.8~3.2 の間において、効率が 20~55% と変化し、R. M. R が大きくなるに従って、効率は高くなる傾向がある。作業強度が大きいほど、オペレータの output、すなわち操舵仕事量が増加する割にはオペレータの input、すなわちエネルギー消費量が増加しないことをあらわしている。しかし R. M. R がさらに大きくなるとこの傾向はある程度まで大きくなって、それ以上の R. M. R に対しては、操舵仕事の増加よりも、オペレータの呼吸仕事の増加が大きくなって、効率は減少するのではないかと考えられるが、これらについてはトラクタの大きさ、走行速度、操舵ピッチなどが関係すると思われる。

各実験区ともに、操舵の周期は同じであるが、操舵トルク、操舵角の振巾の大きさは異なり、さらにオペレータの違いによる差が見られる。これらの差は各オペレータによる操舵の相違が生じた結果と考えられる。この相違を以下のように表現することによって、オペレータの操舵の評価をすることができる。

2. 操舵トルク、操舵角の変動

Fig. 6 はスラローム走行におけるオペレータの操舵トルク、操舵角の変動を示すために、それぞれの変動係数、相関係数、標準偏差を求めたものである。操舵トルク、操舵角線図において、基準線より上はトラクタが右旋回している期間であり、下は左旋回している期間である。この一ピッチ間の振巾に大きさのばらつきがある。操舵トルク、操舵角の平均値を横軸にとって、それぞれ右切り時、左切り時のトルク、角度の変動係数を求め、トラクタの走行速度を区別せずにプロットしたものである。これをみると、同一方向の旋回間の操舵トルク、操舵角には大きい変動はなく、変動係数としてそれぞれ 0.2、0.1 と小さい値を示している。

一方各ピッチ間において、右切り時と左切り時の操舵トルク、角度の間の変動を見るために、相関係数を求めてプロットした。操舵の方向間の相関は非常に小さいか、または負の値を示している。オペレータ、トラクタの走行速度のいかんにかかわらず、相関はほとんどなく、

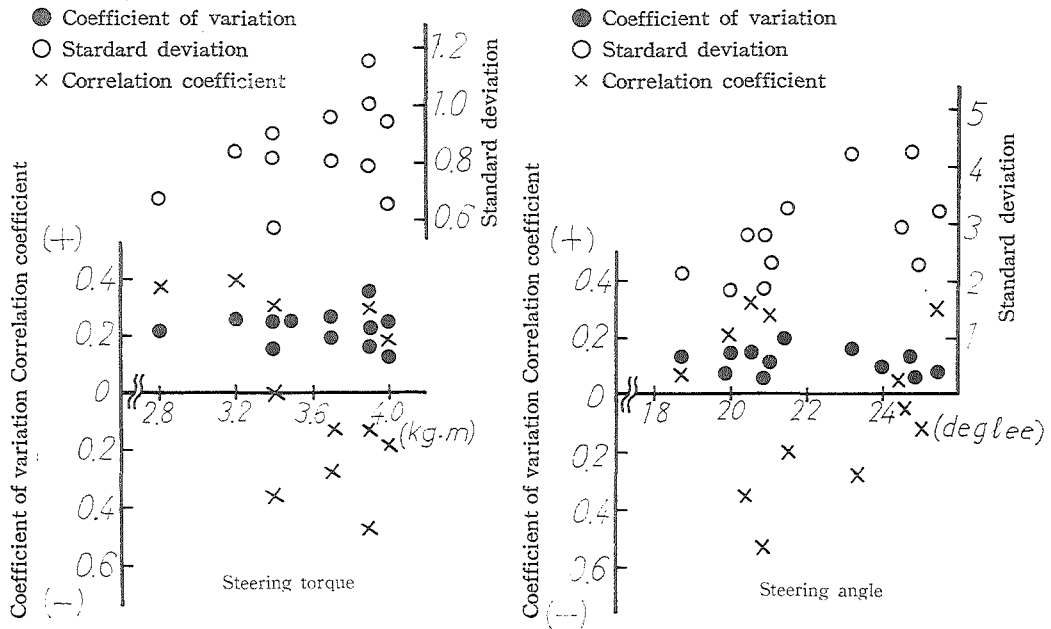


Fig. 6. Deviation of steering torque and angle

さらに上述のように同一方向の操舵間の変動は小さいことから、操舵仕事には、操舵方向による大きい差異があることがわかる。この理由については不明である。

操舵仕事の時間的変化を示す場合に、単に操舵馬力そのものの時間的変化としてあらわすよりも、自己相関係数をとると、振巾比が2乗された形となるので、原波形よりもスラローム走行という技術的にやや困難なコースを走行する際のオペレータの操舵の仕方の時間的な変化が強調される。

Fig. 7-1 は操舵の方向性は考えずに、操舵馬力の Correlogram を求め、トラクタ走行速度の大きいものの順に上から並べたもので、縦軸には自己相関係数を取り、横軸にはスラローム旋回の一ピッチの時間をとった。これで見ると、半周期時に自己相関係数の最大の山があらわれていて、一ピッチの中で、操舵仕事の最小点においては相関度は最大点を示している。その相関の程度は走行速度の速いもの、操舵仕事の忙しいほど大きくなっている。この半周期時における相関の大きさの傾向と操舵仕事の作業強度の大きさの傾向とはほぼ一致し、半周期時の相関の大きいほど R.M.R が大きい。さらにこの傾向は相関の時間的変化の大きさと同じ傾向を示し、操舵仕事の変化が大きいほど、操舵仕事より正の操舵仕事の割合が大きいことを意味している。

Fig. 7-2 は操舵の方向を考慮して計算し、同じように配列したものである。操舵トルク、操舵角の記録線図上で、右切り（カーブが上昇している）を正、左切り（カーブが下降している）を負と符号をつけたものである。自己相関係数が負であるのは、操舵の力の方向と回転角の方向が違っている場合で、操舵の方向が変わるときに、この現象があらわれることが多い。同一コース上を走行することを目標としていても、オペレータによってその操舵方法に相違が大きいことがわかる。半周期時に相関の最大点があるが、操舵が緩やかな実験区においては、相関があまり強くないことがわかる。

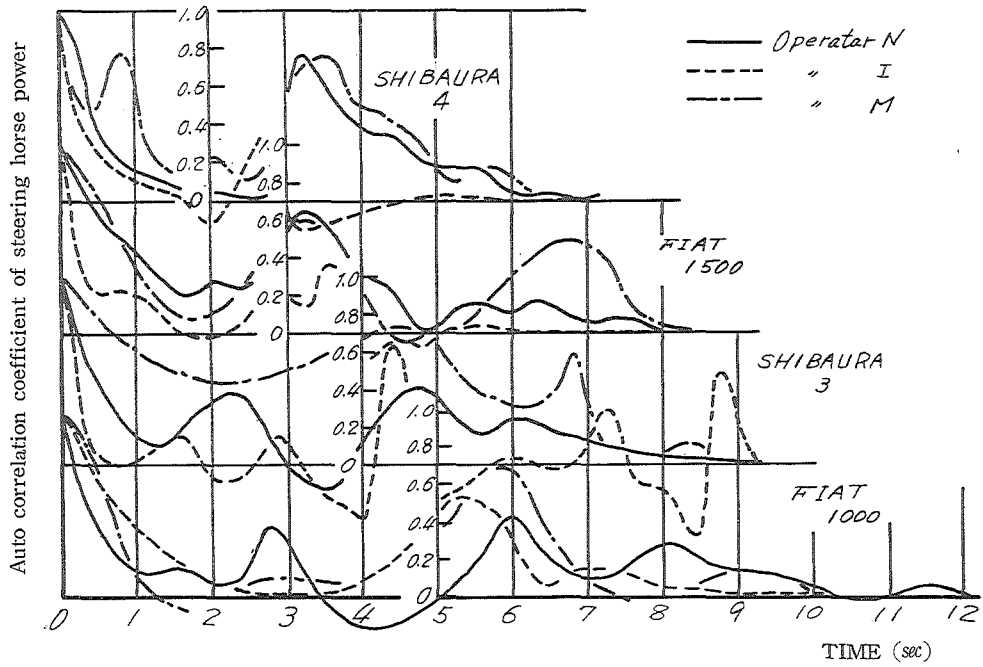


Fig. 7-1. Correlograms of steering horse power

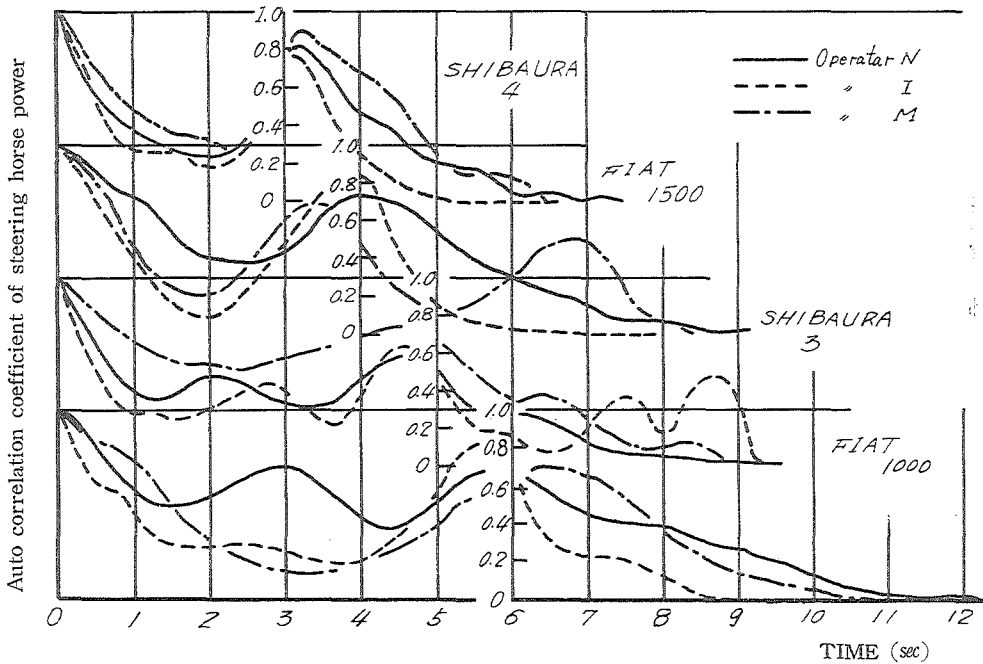


Fig. 7-2. Correlograms of steering horse power

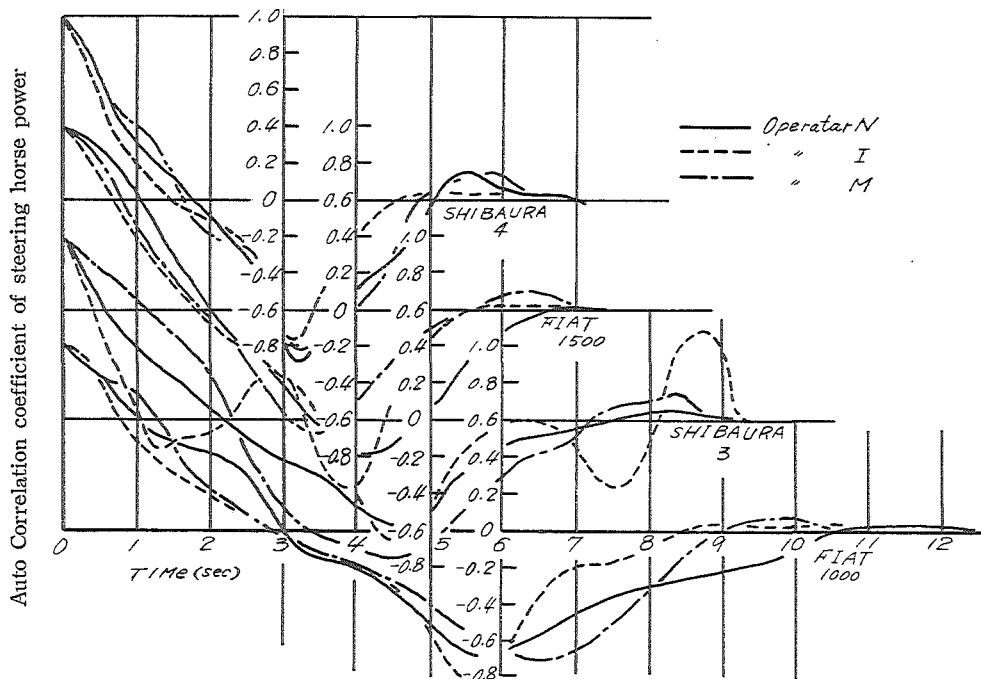


Fig. 7-3. Correlograms of steering horse power

Fig. 7-3 は記録線図上で基準線より上を正、下を負とした場合の Correlogram である。コースの半周期時に負の最大値があり、その点を境として操舵の方向が逆転していることを示している。オペレータの操舵の相違は緩速度の方があらわれ易く、オペレータ I の操舵の変動はもっとも大きい。

スラローム旋回走行の操舵はそのトルク、角度はともに周期的に変化するから、一ピッチについて調和解析(12点法)をおこない、フーリエ係数によって、操舵の特性を表現することが可能と考えられる。調和解析の結果は、

$$f(x) = \sum_{k=0}^6 C_k \sin(kx + \varphi_k)$$

$$C_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}$$

$$\varphi_k = \tan^{-1} \frac{a_k}{b_k}$$

として、振巾 C_k 、位相差 φ_k をもつ正弦波であらわすことができる。

Table 2 は第1項のみの係数について各トラクタの走行速度ごとに、各オペレータの操舵トルク、操舵角の C_k と φ を計算したものである。

操舵トルクの振巾は、トラクタ走行速度の大きいもの、または R. M. R の大きいものの方が大きい傾向がある。オペレータによる差異はあまり明らかではないが、オペレータ N に比べて、オペレータ I, M は、FIAT トラクタにおいて大きい操舵トルクを与え、SHIBAURA トラクタにおいて少ないトルクを与えている。これは操舵角の振巾についても同じ傾向を示している。位相角については、はっきりした傾向はわからない。

Table 2. Amplitude and phase angle in the harmonic analysis of steering angle

Name of Experiment	Torque & Angle		Torque		Angle	
	Operator	C, φ	C	φ	C	φ
FIAT 1500	N		0.74	63.6	518.63	0.6
	I		0.88	35.7	580.09	-27.5
	M		0.83	72.4	489.17	27.9
FIAT 1000	N		0.59	39.2	453.18	-19.5
	I		0.71	51.9	474.29	-13.1
	M		0.83	32.8	556.09	-12.9
SHIBAURA 4	N		0.76	70.0	241.43	16.7
	I		0.95	31.0	273.93	-33.3
	M		1.03	74.6	255.79	24.9
SHIBAURA 3	N		0.85	26.1	287.94	-30.9
	I		0.73	33.9	241.72	-31.9
	M		0.78	60.7	278.49	11.6

Table 3. Mean Value of amplitude and phase angle in the harmonic analysis of steering horse power

Name of tractor	C _k , φ		φ	
	Torque	Angle	Torque	Angle
SHIBAURA 4	0.91	257.1	58.5	2.8
FIAT 1500	0.82	529.3	57.2	0.3
SHIBAURA 3	0.79	269.4	40.2	-17.1
FIAT 1000	0.71	494.5	41.3	-13.2

Table 3は3人のオペレータの平均値を求め、トラクタの走行速度の順に並べたものである。操舵トルクの振巾はほぼトラクタ速度の大きさに比例し、FIATトラクタの操舵角の振巾は、SHIBAURAトラクタのほぼ2倍となっている。これはFIATトラクタの操向歯車比はSHIBAURAトラクタのほぼ2倍であることと一致している。位相角については、はっきりした傾向は認められない。

IV. 摘 要

トラクタを操舵するオペレータの操舵仕事の大きさを知るために、トラクタに操舵力角計を装着し、同時に操舵中におけるエネルギー消費量を知るために、オペレータの呼吸を採取し、また心拍数、呼吸数を遠隔記録した。

1. オペレータの心拍数、呼吸数は操舵の開始とともに急に増加するが、その後の増加割合は少なくなる。操舵仕事の強さをあらわすエネルギー代謝率(R. M. R)はトラクタの速度が大きくなると増加し、また心拍数、呼吸数の増加割合とも比例関係にある。
2. トラクタを操舵するに要するオペレータの仕事量と、オペレータの呼吸による消費エネルギーとの比をオペレータの操舵仕事の効率とすると、この効率は操舵仕事の強さ(R. M. R)とほ

ば比例関係にある。

3. トラクタの操舵仕事の特性を知る方法として次のことがあげられた。

- 1) 変動係数, 相関係数, 標準偏差を求めて, 操舵の方向による「ばらつき」を表現した。
- 2) 操舵馬力の自己相関係数を求めて, スラローム旋回一ピッチ間の時間的变化を図示すると, その相関度の大きさと, 時間的变化によって, トラクタの速度, オペレータの操舵の差異を知ることが可能である。
- 3) 操舵トルク, 操舵角変動を調和解析し, フーリエ係数を求めて, その振巾, 位相角によって, 操舵特性を表現できる。

参 考 文 献

- 1) 沼尻幸吉 (1967): 労働の強さと適正作業量, 219~256. 労働科学研究所出版部・東京
- 2) 三浦貞二 (1971): 加工面あらさ曲線の解析. 日本機械学会誌, 74 (627), 384~386
- 3) 兼重一郎 (1967): 機械の研究, 19 (1), 97~99
- 4) 山内保文 (1967): 不規則振動解析の理論. 日本機械学会第271回講習会教材, 41~43
- 5) 平尾収, ほか (1970): 操舵馬力. 自動車工学ハンドブック, 3-41. 朝倉書店・東京