

ロータリ除雪装置の除雪動力に関する研究 (1)  
— 除雪動力試験 —

栗山 弘\*・野原以左武\*\*・小林俊市\*\*

国立防災科学技術センター雪害実験研究所

**Studies on the Snow Removing Power of the Rotary Snow  
Removing Equipment (1)**

— The Measurements of the Snow Removing Power —

By

**Hiroshi Kuriyama, Isamu Nohara and Toshiichi Kobayashi**

*Institute of Snow and Ice Studies,*

*National Research Center for Disaster Prevention,*

*Suyoshi, Nagaoka, Niigata-ken, 940*

**Abstract**

The experimental studies on the characteristics of the power of auger and blower of the rotary snow removing equipment were carried out by using the two stage type rotary snow removing vehicle in the field of snow cover.

Three kinds of auger with blade inclination angle of 45°, 60° and 75° were prepared for the studies.

The experimental results are as follows:

(1) The resistance of snow removing of the auger increases proportionally to the snow removing weight.

(2) As for the effect of the inclination angle of the blade, the resistance of the auger with blade inclination angle of 60° is less than others.

(3) The snow removing performance rate of the blower decreases in inverse proportion to the square of the surcumferential speed of the blower.

(4) Under 10 m/s of the surcumferential speed of the blower, the snow removing power of the auger is superior to that of the blower, and above 10 m/s, the snow removing power of the auger is inferior to that of the blower.

---

\*雪害実験研究所, \*\*第3研究室

## 1. ま え が き

昭和31年法律第27号「積雪寒冷特別地域における道路交通の確保に関する特別措置法」が制定された。この法律に基づき、わが国の積雪地域の冬季の道路交通を確保するために、国の直轄道路除雪が昭和32年度に北海道で、昭和34年度に本州で開始された。

最近では積雪地域といえども、社会的経済的活動は全国的ネットワークに組み込まれ、冬季においても無雪地域と同一水準の活動の維持が強く要請されている。このために種々の雪害防止対策のレベルの向上が必須条件となり、なかでも道路や生活域の除雪技術は、年々より高水準のものが要求されている。

一方高水準の除雪を実行するには、現在のところ多額の経費負担は避けられない。行政機関、自治体、民間を問わず、財政・経費負担の軽減化が強く要請されるなかで、社会的要請が強いとはいえ、高水準の除雪のための多額の財政・経費負担は大きな問題である。

除雪の高水準化と財政・経費負担の軽減化という二律排反的な問題は、種々の観点から解決されるべきものであるが、除雪の主役である除雪機械の性能向上、除雪機械の省エネルギー化、省力化も重要な解決策の一つである。

数ある雪害対策の根幹をなす道路の除雪は、除雪機械により道路上の積雪を排除する機械除雪と、積雪に熱を加えて融解する融雪除去に大別される。

除雪手段の選択は道路の幅員、勾配、線形、都市部郊外部、交通量などの道路・交通条件、積降雪量や気温などの気象条件、融雪用熱の有無などによるが、わが国の道路除雪延長の95%以上が機械除雪である。

このように機械除雪が主体となっているのは、同じ量の雪を除去するのに、機械除雪の必要エネルギーが融雪除去のそれに比して格段に少ない（たとえば、栗山，1981）ためである。さらに必要エネルギーの少ないことに関連して、機械除雪の経費が融雪除去のそれより安価であることも、機械除雪への依存度の大きい理由である。

なお、現在実行されている道路の融雪除去の熱源の大部分は、地下水に蓄えられている自然熱である。

現在の道路の主要除雪機械は、道路上の積雪を路側に排除する除雪トラック、除雪ドーザー、雪捨て用ダンプトラックに積雪を積込むスノーローダ、路面の圧雪を除去する圧雪除去車、路面の防滑材を散布する凍結防止材散布車、道路上の積雪を路外に投雪したり、ダンプトラックに積込むロータリ除雪車などがある。

このうちロータリ除雪車は積雪期の初期から、冬の最盛期、融雪期の全積雪期間中に、高速自動車国道から都市内の生活道路にいたるすべての道路の除雪に使用される、最も重要で且つ使用台数の多い除雪機械である。

主要除雪機械であるロータリ除雪車の除雪性能を向上させることは、除雪水準の向上と除

雪経費の軽減に大きく寄与できることから、これまでロータリ除雪車に関して、次のようにいくつかの研究がなされた。

下田・佐藤 (1969), 下田・古川 (1971), 下田・千木良・石橋 (1977) はツーエンジン (two engines) 式中型ロータリ除雪車 (合計エンジン出力 150 ps 級) の除雪実験から、ワンステージ型 (one stage Stype) ロータリ除雪車およびツーステージ型 (two stages type) ロータリ除雪車の除雪動力を積雪の深さ, 密度, 除雪速度, ブロワ (blower) 回転速度等の除雪条件を与えて求める実験式を提示している。

長田・三日月・小林 (1974) はブロワの除雪体積を増大させる方法として, ブロワの直径を一定として奥行を直径の 0.5, 0.75, 1 倍とした 3 種のブロワの除雪体積を比較し, 同一ブロワ回転速度では, 除雪速度が大きいほど雪はブロワの奥まで到達し, 除雪体積が大きくなるという結果を得ている。

Shibuya・Kuriyama (1979) はワンエンジン式ツーステージ型大型ロータリ除雪車 (エンジン出力 250 ps 級) について, 4 枚羽根ブロワと 5 枚羽根ブロワの除雪性能を比較し, 同一除雪条件で 4 枚羽根ブロワの除雪性能が平均して 16% 大きい。ただし 4 枚羽根ブロワの除雪動力の変動は 5 枚羽根ブロワのそれより大きいという結果を得ている。

栗山・渋谷 (1978) はブロワの中の雪の厚さを渦巻線で表示する堆雪モデルを考え, これに基づいてブロワ除雪動力を求める半理論式を導いている。

以上の研究のほかに, ロータリ除雪車の新機種のパフォーマンス試験などで除雪動力の調査がいくつか実施されている (たとえば東北技術事務所, 1975)。

本研究ではロータリ除雪車の動力性能と除雪能率の向上のために, これまで実施されていないツーステージ型ロータリ除雪装置のオーガ (auger) 除雪動力とブロワ除雪動力に及ぼす積雪条件および除雪条件の影響及び, 両動力相互の関係を解明することを目的として, 農業用トラクターをベースマシンとしたツーステージ型ロータリ除雪車を使用して, 自然積雪を対象とした除雪試験を実施した。

さらに安価なロータリ除雪車を得る有望な手段と考えられる既存車輛 (たとえば農業用トラクター) をベースマシンとして利用する場合の, 基礎資料を得ることも本研究の副次的目的である。

## 2. 道路除雪におけるロータリ除雪車の用途

### 2.1 一般的な用途

道路には人や自動車の通行の安全や円滑のために, 交通条件に適合する横断形状, 縦断形状, 曲線部の曲率等が定められる。これらは道路の幾何構造と称される。

積雪地域の道路の幾何構造としては, 道路上の積雪を除去して堆積する堆雪帯を有する横

断形状，自動車の車輪の滑りを考慮した縦断形状，自動車の遠心力と横滑りを考慮した曲線部の曲率と横断形状などがある。

道路上の新積雪は人や自動車の通行の支障となるので，道路管理者はできるだけ早急にこれを除雪機械で除去する。新積雪の除去に使用する除雪機械は，前部にスノープラウ(Snow-Plow)を装着した除雪トラックまたは除雪ドーザで，スノープラウで排除された新積雪は，図 1 に示すように，路側の一次堆雪帯に堆積される。これを一次堆雪と称する。新雪除雪の回数が増加すると，一次堆雪の体積が増加し，堆雪の底部は車道に進出して，その有効幅員を狭める。スノープラウで除去される前に自動車の車輪で踏み固められた新積雪は，固い圧雪となり，スノープラウでは除去不能となる。このような固い圧雪は，圧雪切削ブレードを有する除雪グレーダで切削除去され，新積雪と同様に一次堆雪帯に堆積される。

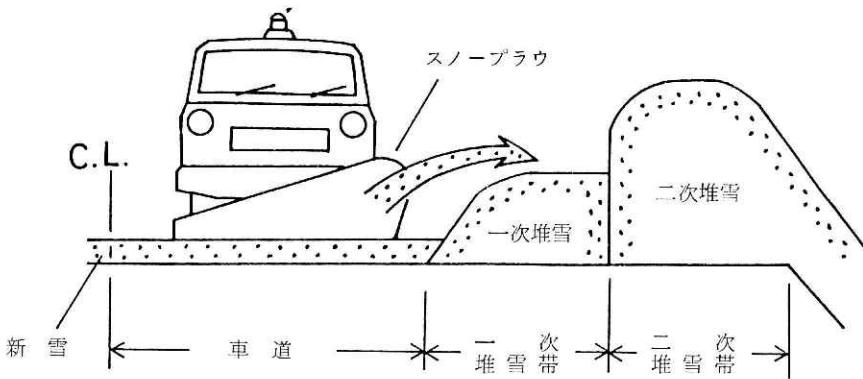


図 1 除雪トラックによる道路上の新雪除雪。

Fig. 1 Snow removal on the road by the snow removing truck.

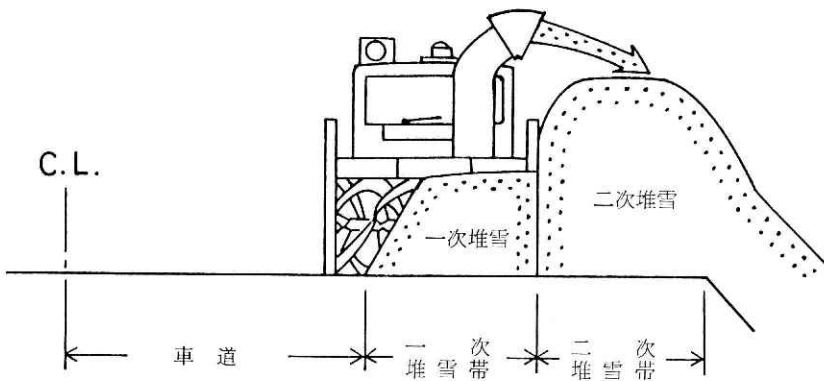


図 2 ロータリ除雪車による一次堆雪の除雪。

Fig. 2 Snow removal of the primary accumulated snow by the rotary snow removing vehicle.

車道を狭めるように成長した一次堆雪は、図2に示すように、ロータリ除雪車で二次堆雪帯に排除される(写真1)か、二次堆雪帯の無い道路では、ロータリ除雪車でダンプトラックに積込まれて(写真2)、遠方の空地などへ運搬投棄される。

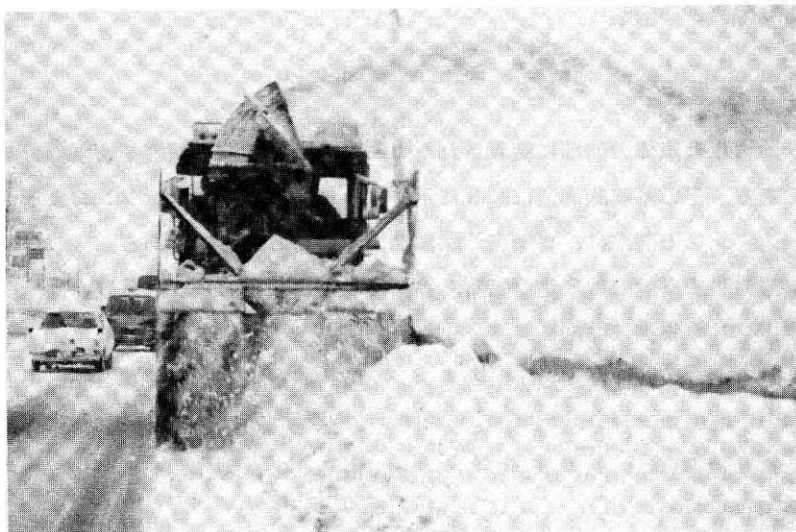


写真1 ロータリ除雪車の一次堆雪除雪。

**Photo. 1** Snow removal of the primary accumulated snow by the rotary snow removing vehicle.



写真2 ロータリ除雪車によるダンプトラックへの雪の積込。

**Photo. 2** Snow loading to the dump-truck by the rotary snow removing vehicle.

## 2.2 その他

道路除雪におけるロータリ除雪車の使途は上記のほかに、道路上に堆積した自然雪崩や人工雪崩の除雪、冬季閉塞道路の春季開削除雪など多岐にわたっている。

## 3. ロータリ除雪車の構造

### 3.1 基本構造

ロータリ除雪車は車体の前部に装着されたロータリ除雪装置で積雪を切削細分し、投雪する除雪車である。その基本的構造は図3に示すように、運転席、エンジンおよび走行装置からなるベースマシンの前部に、ロータリ除雪装置を装着したものである。

エンジンで発生する動力は、走行装置、ロータリ除雪装置および各装置の操作制御用油圧装置の油圧ポンプの駆動に使用される。これらの装置を1個のエンジンで駆動するものをワンエンジン式、走行装置の駆動を1個のエンジンで、ロータリ除雪装置と制御用油圧ポンプの駆動を他の1個のエンジン、計2個のエンジンで駆動するものをツーエンジン式と称する。現用のロータリ除雪車は、除雪車全体を小型化できること、製作費を低廉化できることなどで、大部分がワンエンジン式で、ツーエンジン式は僅かである。

ロータリ除雪装置は積雪を切削細分する機能と、雪を投雪する機能を有し、この二つの機能を一つの回転機構で実行するものをワンステージ型、二つの回転機構で実行するものをツーステージ型（図3参照）と称する。現用のロータリ除雪車では、二つの機能をそれぞれ

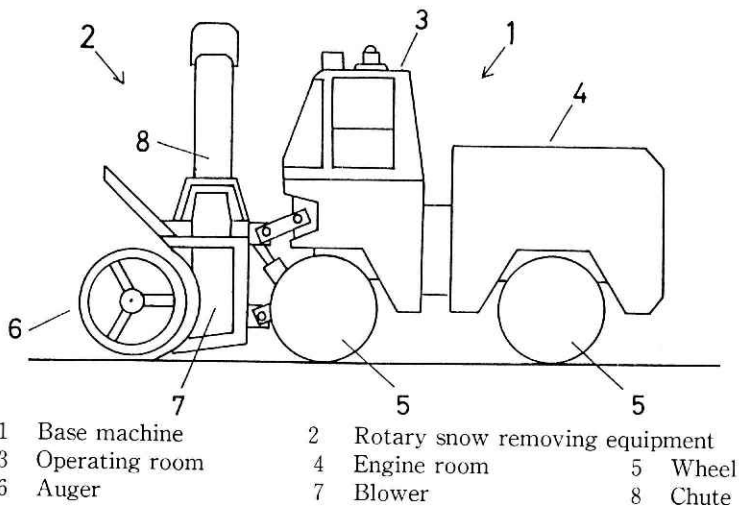


図3 ロータリ除雪車（ツーステージ型）の基本構成。

Fig. 3 Fundamental composition of the two stages type rotary snow removing vehicle.

独立させたツーステージ式が、雪質の変化に対応して安定した除雪性能が期待できるので、ツーステージ型ロータリ除雪車が主体となっている。

### 3.2 ロータリ除雪装置

ツーステージ型ロータリ除雪装置の基本構成を図4に示す。装置の前部には回転しながら雪を破碎細分するオーガが装着され、その後部にオーガで破碎細分された雪を投雪するブロワーが装着されている。

オーガはその回転軸を軸とする仮想円柱の側面に、帯鋼状のブレードを、ブレードの高さ方向が円柱側面の法線方向になるように、つる巻線状に巻きつけたスクリュコンベヤの一種である。ブレードはスポークによって回転軸に固定されている。ブレードの数はオーガの直径の大きさによって3~4条となっている。

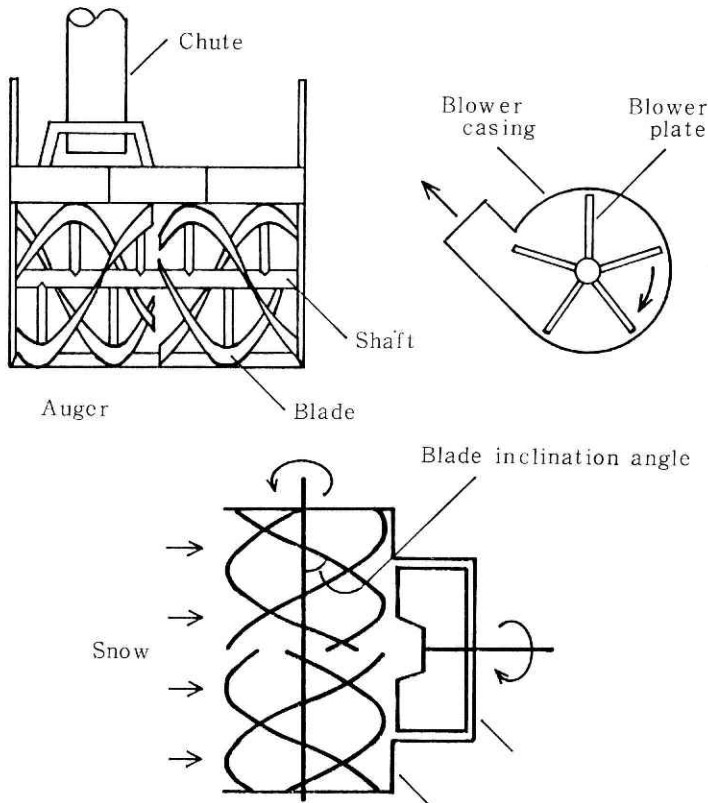


図4 ツーステージ型ロータリ除雪装置。

Fig. 4 Two stages type rotary snow removing equipment.

ブレードはオーガの回転により、積雪を切削細分し、さらに回転軸と平行方向に横送りする機能を有する。

オーガを投影したときのブレードと回転軸のなす角をブレード傾角と称する。これはねじのつる巻角の余角に相当する。

オーガの直径と幅の比率は一般的に1.8~2.0となっている。

ブロワは回転軸に放射状に4~5枚のプレートを取付けたものが、円筒形のケーシングの中にセットされたものである。ケーシングの円筒側面部には雪の飛出し口があり、これは飛雪を誘導するシュートに接続される。ケーシングはプレートの回転軸を軸にして回転することにより飛雪口の位置を変えて、飛雪の飛出し角度を変える方式のものが多い。

オーガで細分された雪はブロワに流入し、回転するプレートによって運動エネルギーを与えられ、ケーシングの飛雪口から飛出す。

ブロワの直径の大きさはオーガの直径に等しいか、やや小さい。ブロワの奥行はブロワの直径の2分の1前後となっている。

ブロワの回転速度は投雪距離を決定する要素であり、オーガの回転速度の3倍程度となっている。

ワンステージ型ロータリ除雪装置は、ツーステージ型のオーガを省略した形で、ブロワのみで雪の細分、投雪を実行するので、ブロワの回転速度は、ツーステージ型のブロワの回転速度と変わらない。

### 3.3 ロータリ除雪車の動力

ロータリ除雪車の主要動力は、除雪動力と走行動力の2系統動力で、それぞれ特性が異なる。

ロータリ除雪装置からの飛雪は、回転するブロワプレートによって雪が運動のエネルギーを受けるため、その飛雪距離はブロワプレートの回転速度の2乗に比例する。

除雪作業においては、同一条件の作業が続くときは投雪距離を一定に保つことが望ましいので、除雪装置の回転速度を一定に保つ必要がある。

一方ロータリ除雪装置に加わる負荷は、除雪対象となる積雪の密度、力学的強度、除雪断面積、除雪速度の変化により変動する。除雪の負荷の変動によりエンジンの回転数が変動し、これに連動して除雪装置の回転速度が変動することとなり、投雪距離が変動する。

投雪距離を一定に保つことは除雪負荷を一定とすることで、そのために、ロータリ除雪車のオペレータは、積雪条件の変化に対応して、除雪速度すなわち走行速度を調整し、除雪負荷が一定となるようにして除雪を実行する。

走行速度の調整は広範囲にかつ多段階が望ましいので、機械式多段変速方式または可変速油圧駆動方式が採用されている。これらの変速方式により、除雪動力と走行動力および油圧ポンプ動力の和が、装着エンジンの定格出力の近傍となるような運転操作が期待できる。



### 3.4 動力伝達

ワンエンジン式ロータリ除雪車の動力伝達系統を図5に示す。前節で述べたように、除雪動力は定負荷、定回転速度で除雪を継続することが望ましいので、エンジンからの動力は機械式クラッチ、機械式変速装置を通して除雪装置に機械的に伝達される。現場条件に適応して投雪距離を変えたり、除雪量を変えるために、変速装置は3~5段の変速となっている。オーガとブロワの動力は、変速装置の中で分岐され、それぞれに伝えられる。

走行用動力は前記のように、積雪の密度、力学的強度、除雪断面積の変化に対応して広範囲に除雪速度の調整が可能ないように、広域多段変速装置が採用されている。広域多段変速装置は、機械的変速方式では副変速装置を、油圧変速方式では静油圧式無段階変速装置(図5参照)を採用している。このうち、後者は変速操作が容易に迅速にできるので、幹線道路用の大型ロータリ除雪車の大部分に採用されている。

変速された走行動力は2分されて前後輪全輪に伝えられる。この全輪駆動方式は積雪路面上で行動する作業用車輛に不可欠である。

ツーエンジン式ロータリ除雪車の動力伝達は、図5に示されるワンエンジン式ロータリ除雪車の動力伝達の走行部分に、走行専用エンジンが接続されている。

除雪動力と走行動力の使用調整は、ワンエンジン式と本質的に同じである。ただし、それ

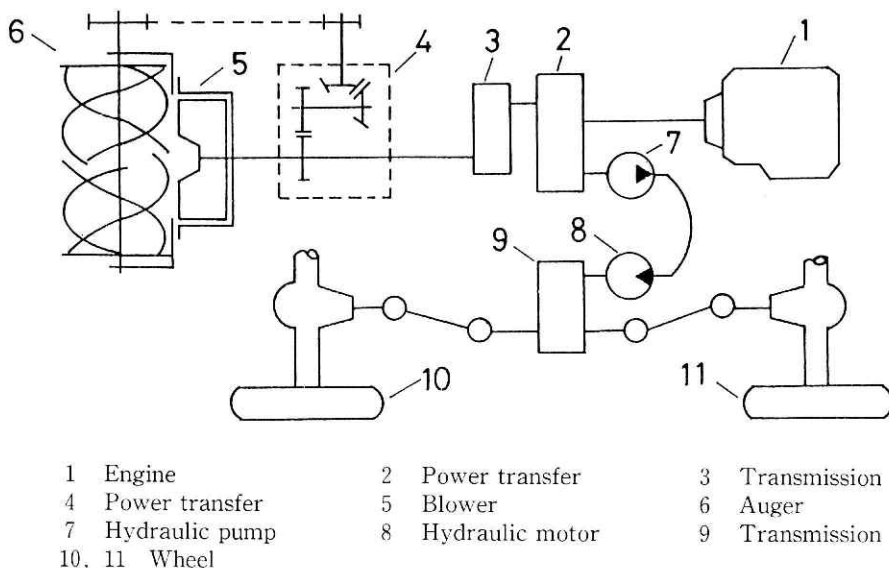


図5 ワンエンジン式ロータリ除雪車の動力伝達系統。

Fig. 5 Power train of the one engine system rotary snow removing vehicle.

ぞれ専用エンジンであるので、除雪時には走行エンジンの能力は一部しか利されず、除雪以外の走行時には除雪用エンジンが休止するなど、両エンジンの出力が同時にフルに利用されることは無い。

ツエンジン式は前記のようにエンジンの利用効率が低いことや、車体が大型化するなどで、すでに他の目的で使用されている既存車輛、たとえば建設用トラクターなどをベースマシンに利用するロータリ除雪車以外には見当たらない。

#### 4. ロータリ除雪装置の動力特性試験

##### 4.1 試験用ロータリ除雪車

試験に使用したロータリ除雪車は、定格出力 32 ps のエンジンを有する農業用トラクターをベースマシンとし、その前部にツーステージ型ロータリ除雪装置を装着したものである。

農業用トラクターをベースマシンに選定した理由は、農業用トラクターが当初からロータリ除雪車に必要な機能を具備しているためである。すなわち、走行装置は副変速機付多段変速式と、不整地走行性の良い全輪駆動式であり、除雪動力は装備されている PTO (Power take off) に除雪装着を接続することで使用可能となる。

表 1 試験ロータリ除雪車の諸元

Table 1 Specification of the rotary snow removing vehicle used in the test.

項目	数値	項目	数値	
全長	4.74 m	ブ型式	直羽根 5 枚	
全幅	1.81 m	ロ直径	0.60m	
全高	2.085m	ワ奥行	0.25m	
総重量	2,780kgf	エンジン定格出力	32ps/2800rpm	
除雪幅	1.70 m	エンジン最大トルク	9.83kgf・m/1600rpm	
除雪高	最大0.95 m	走行速度	0.2-14.8km/h	
除雪装置	ツーステージ型	変前進	16 段	
除雪変速段	4 段	速後進	4 段	
オー	型式	リボンスクリュー式 3 条	段 P T O	4 段
	直径	0.70 m	タ前輪	8-16
	幅	1.70 m	ヤ後輪	12.4-28
ガ	ブレード傾角	45°, 60°, 75°	最小回転半径	4.18m



写真 3.1 試験用ロータリ除雪車の正面（傾角  $60^\circ$  オーガ装着）。

Photo. 3.1 The rotary snow removing vehicle with auger composed of blade of  $60^\circ$  inclination angle used in the test.

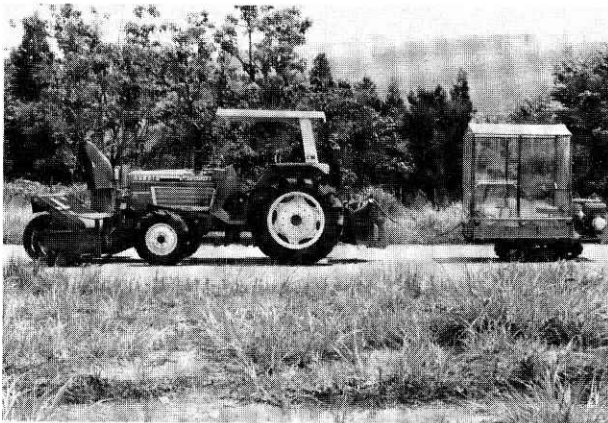


写真 3.2 試験用ロータリ除雪車の側面と計測機器キャリヤ。

Photo. 3.2 The side view of the rotary snow removing vehicle and the carrier of the measuring instruments.

試験除雪車の諸元を表 1 に、全体を写真 3 に示す。ロータリ除雪装置の寸法はトラクターの諸元に適用するように決定された。装置の幅（除雪幅）はトラクターの側面と装置の側面の間のクリアランス  $0.1\text{m}$  を確保して  $1.7\text{m}$  とした。使用実績から推定したロータリ除雪車の除雪能力、エンジン出力  $1\text{ps}$  当り除雪重量  $5\text{tf/h}$  から、 $32\text{ps}$  のエンジンの 1 時間の除雪重

量を160 tfとし、積雪の密度を $0.35 \text{ g/cm}^3$ 、除雪速度を $0.4 \text{ km/h}$ とすると除雪断面積は $1.14 \text{ m}^2$ となり、除雪高さは $0.67 \text{ m}$ となる。よってオーガの直径を $0.7 \text{ m}$ とした。

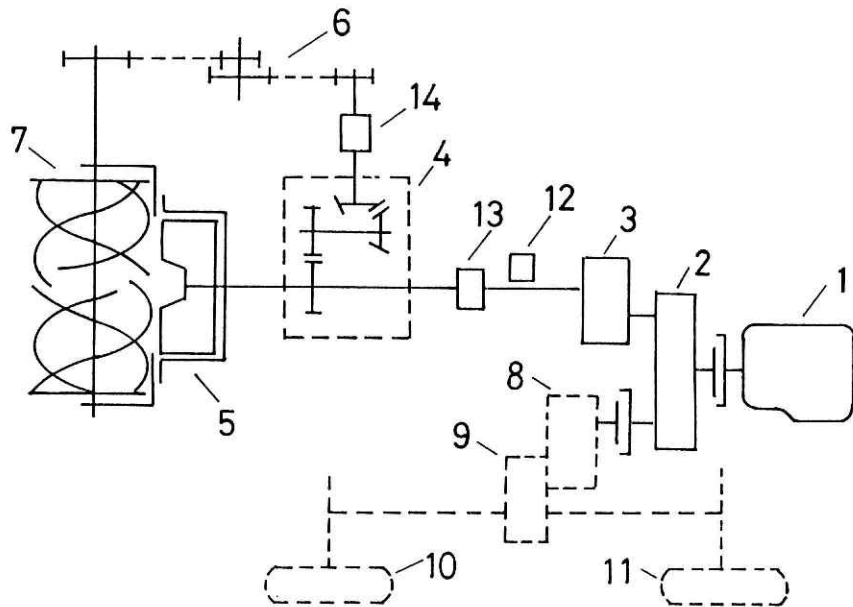
ブロワの直径はオーガの直径の約85%として $0.6 \text{ m}$ 、奥行は直径の50%以下として $0.25 \text{ m}$ とした。

試験除雪車の動力伝達系統を図6に示す。エンジンの動力は動力分配機で二分され、一方はPTOから除雪用変速機を通して、オーガとブロワに伝達される。他方は主・副変速機を通して車輪に伝達される。

除雪用変速機は4段変速式とし、オーガの回転速度はブロワの回転速度の0.325倍とした。エンジンの定格回転速度に対応するブロワとオーガの回転速度を表2に示す。

オーガのブレードは3条で、ブレードの高さを $0.1 \text{ m}$ とした。ブレードの傾角と雪の切削性能の関係を調査するために、傾角が $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $75^\circ$ の3種のオーガ(写真3.1, 写真4)を試験に使用した。

ロータリ除雪車の動力の計測は、図6に示す除雪用変速機(3)と除雪動力分配機(4)の間の動力伝達軸に、回転数検出センサー(12)とトルクメータ(13)を取付けて、同軸の回転速度とトルク



- |                  |                      |                    |
|------------------|----------------------|--------------------|
| 1 Engine         | 2 Power transfer     | 3 Transmission     |
| 4 Power Transfer | 5 Blower             | 6 Reduction chain  |
| 7 Auger          | 8 Transmission       | 9 Sub-transmission |
| 10, 11 Wheel     | 12 Revolution sensor | 13, 14 Toque meter |

図6 試験用ロータリ除雪車の動力伝達系統。

Fig. 6 Power train of the rotary snow removing vehicle used in the test.

表2 オーガ、ブロワの回転速度 (エンジン回転  
速度 2800 rpm)

Table2 Revolution speed of the auger and the blower.

PTO 変速段	1	2	3	4
オーガ回転速度 (rpm)	135.0	177.2	227.4	298.6
ブロワ回転速度 (rpm)	415.5	545.3	699.8	918.8

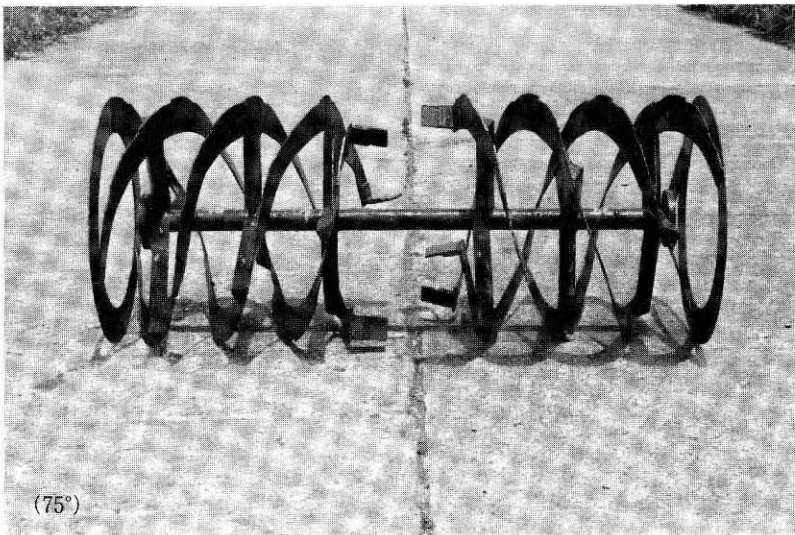
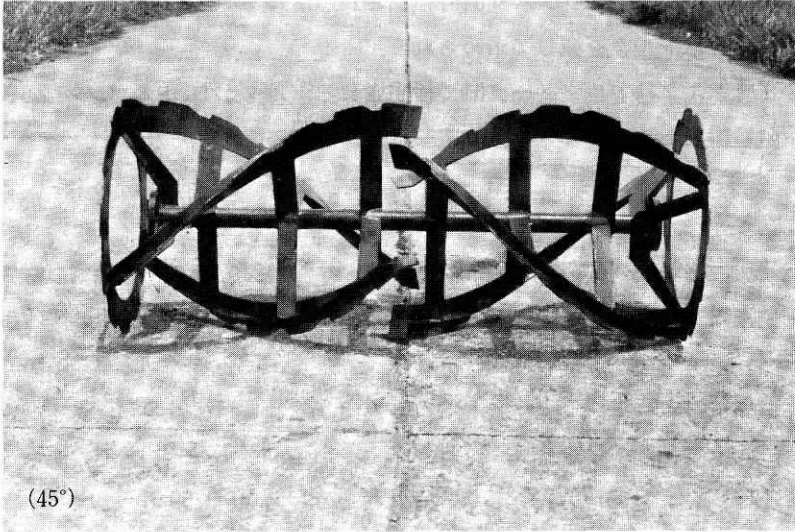


写真4 傾角 45° および傾角 75° オーガ.

Photo. 4 The augers composed of blade of 45° and 75° inclination angle.

を検出した。さらに除雪動力分配機からオーガへの動力伝達軸にトルクメータ(14)を取付けて、オーガ動力のトルクを検出した。

トルクメータのトルクは動歪計を介してペンレコーダで、併わせて回転軸の回転数もペンレコーダで記録した。

ブロワの回転速度は回転数検出センサー(12)の検出速度そのものであり、オーガの回転速度はブロワの回転速度に所定の減速比(0.325)を乗じて求められる。

オーガの正味トルクはトルクメータ(14)で検出されるトルクから、動力伝達装置の損失トルクおよびオーガ空転トルクを減じて求められる。

ブロワの正味トルクはトルクメータ(13)で検出されるトルクから、トルクメータ(14)のトルク、動力伝達装置の損失トルクおよびブロワ空転トルクを減じて求められる。

## 4.2 試験方法

雪害実験研究所(新潟県長岡市栖吉町前山187-16、標高97.0m)の除雪試験道路(コンクリート舗装、幅7.5m、長さ130m)を使用して、試験用ロータリ除雪車の除雪動力試験を実施した。

試験雪は自然積雪の新雪、しまり雪、ざらめ雪の3種とし、積雪の深さはオーガの直径に等しい0.7mおよび、オーガの直径の約70%の0.5mを目標とした。実際の試験積雪の深さは、0.7mに対しては0.65~0.72m、0.5mに対しては0.4~0.55mとなった。

積雪の物理量として雪温、密度、さらに必要に応じて木下式硬度(木下, 1960)、ベーン剪断強度(栗山, 1984)、含水率を測定した。

積雪の密度は長さ1mのスノーサンプラーを用いて、全層の雪を1回で採取し測定した。したがってこれは全層平均密度となる。これを3回繰返して平均値を得た。

木下硬度およびベーン剪断強度は積雪層の上中下の3層について実施し、その平均値とした。

除雪車の除雪速度は試験コースの側方に1m間隔にポールをたて、除雪車がポールを通過する毎に記録紙にマーキングをし、併せて記録された時間マーキングと対照して求めた。

試験除雪長は4mとし、その手前に除雪動力を安定させるために、2~3mの除雪動力調整区間を設け、動力が安定した状態で試験に移行した。

単位時間当りの除雪体積は除雪速度と除雪断面積により、除雪重量は除雪体積と積雪密度から算出した。

除雪試験の様子を写真5に示し、試験データの記録例を図7に示す。



写真 5 除雪試験。  
Photo. 5 Snow removing test.

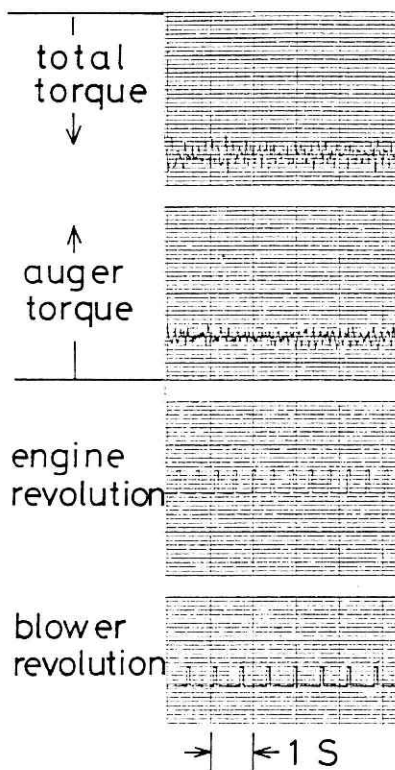


図 7 除雪試験のペンオシログラム。  
Fig. 7 Pen-oscillogram obtained in the test.

## 5. 試験結果および考察

### 5.1 オーガの除雪動力

除雪時のオーガの運動は図 8.1 で示され、オーガブレード上の一点の軌跡は図 8.2 で示されるように cycloid となる。

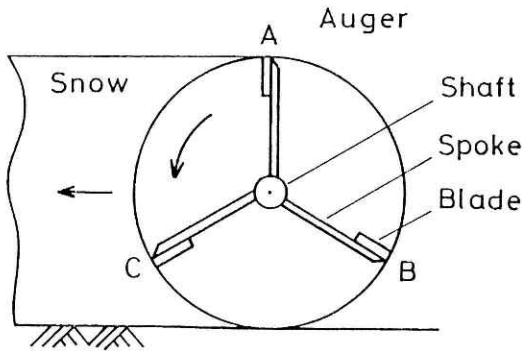


図 8.1 除雪時のオーガの運動.

Fig. 8.1 Motion of the auger at snow removing.

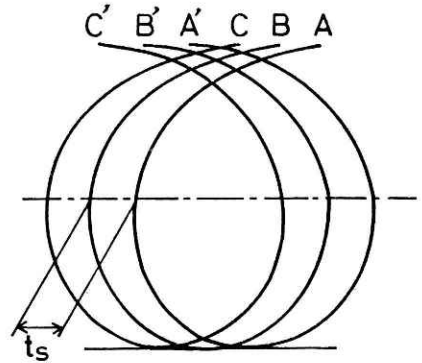


図 8.2 除雪時のオーガブレード上の一点の軌跡.

図 8.1 のブレード A は A-A' の cycloid を描く、 $t_s$  は回転軸を含む水平面のブレード 1 回転の雪切削厚.

Fig. 8.2 Cycloid which is the locus of the point on the auger blade.

オーガは図 8.1 で示される運動を実行しながら、積雪を切削細分することと、細分された雪を中央のプロウのに輸送する二つの機能をはたす。この機能を実行するときオーガは除雪抵抗を受ける。

除雪抵抗は図 6 に示される方法により、オーガのトルクとして測定されるので、オーガの除雪抵抗は正味オーガトルクをオーガの回転半径で除して求められる。

試験対象の積雪は、新雪、しまり雪、ざらめ雪を選定したが、試験場所が積雪の温暖変態地域に属するので、均一な新雪、均一なしまり雪を選定することは不可能であった。試験データで新雪としたものには、積雪層の中に 3~8 cm の厚さの小しまり雪の層が 1~3 層混入したもので、全層の平均密度は  $0.102 \sim 0.189 \text{ g/cm}^3$  であった。同様にしまり雪としたものには 1~3 cm のざらめ雪の層が数層混入したもので、全層の平均密度は  $0.219 \sim 0.370 \text{ g/cm}^3$  であった。ざらめ雪の場合は全層ざらめ雪で、全層平均密度は  $0.412 \sim 0.521 \text{ g/cm}^3$  であった。

除雪断面は、①除雪幅 1.7 m, 除雪高さ 0.65~0.72 m (計画高さ 0.7 m, 全断面除雪と称する), ②除雪幅 0.8~1.0 m, 除雪高さ 0.65~0.70 m (計画高さ 0.7 m, 半断面除雪と称する), ③除雪幅 1.7 m, 除雪高さ 0.4~0.55 m (計画高さ 0.5 m, 低断面除雪と称する) とした。

#### 5.1.1 除雪重量とオーガの除雪抵抗

除雪試験の結果得られた毎秒の除雪重量  $w$  とオーガの除雪抵抗  $F_a$  の関係を図 9 に示す。低断面 (図 9.1), 半断面 (図 9.2), 全断面 (図 9.3) のいずれの場合も除雪重量の増加に対して、除雪抵抗は概ね直線的に増加している。ただし増加率は全断面除雪が最も大きく、次



いで低断面除雪, 半断面除雪となっている。

雪質のちがいによる除雪抵抗の差については, 低断面除雪, 全断面除雪ともに, ざらめ雪の除雪抵抗が, 新雪しまり雪の除雪抵抗より大きい。特に低断面除雪の場合は, ざらめ雪の除雪抵抗と新雪, しまり雪の除雪抵抗の差が, 全断面除雪の場合より大きく現われている。

ブレード傾角のちがいによる除雪抵抗の差については, すべての雪質およびすべての除雪断面で, ブレード傾角  $60^\circ$  のオーガの除雪抵抗が, 他のオーガの除雪抵抗より小さくなっている。

この理由は次のように推測される。オーガの単位時間の雪輸送体積は次の(1)式で示され, 雪輸送体積はオーガ周速とブレード傾角の余接 (cotangent) に比例して増加する。したがってブレード傾角  $45^\circ$  のオーガの雪輸送量が多くなるはずであるが, 雪の移動抵抗が増大して雪が圧縮されるために, 結果として除雪抵抗が増大する。

ブレード傾角  $75^\circ$  のオーガの雪輸送量は3種のオーガの中で最も小さいので, 単位時間の除雪体積が増加すると, オーガの雪輸送能力をオーバし, 雪がオーガの中に過密充填となることによりオーガの機能を阻害し, 結果として除雪抵抗が増大する。

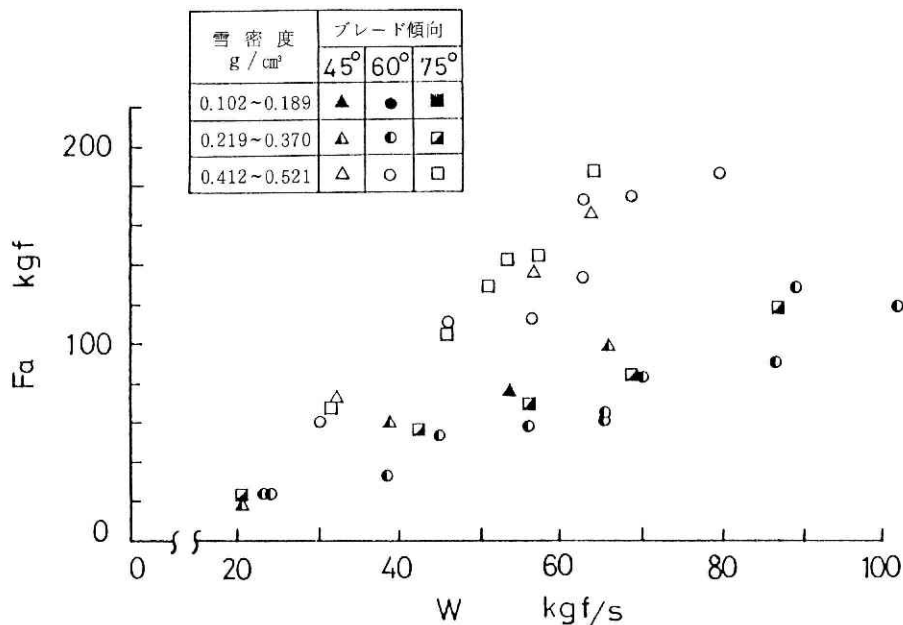


図 9.1 低断面除雪の除雪重量  $w$  とオーガ除雪抵抗  $F_a$  の関係。

Fig. 9.1 Relation between snow removing weight  $w$  and snow removing resistance of auger  $F_a$ . (Snow removing of a less height of snow than the auger height.)

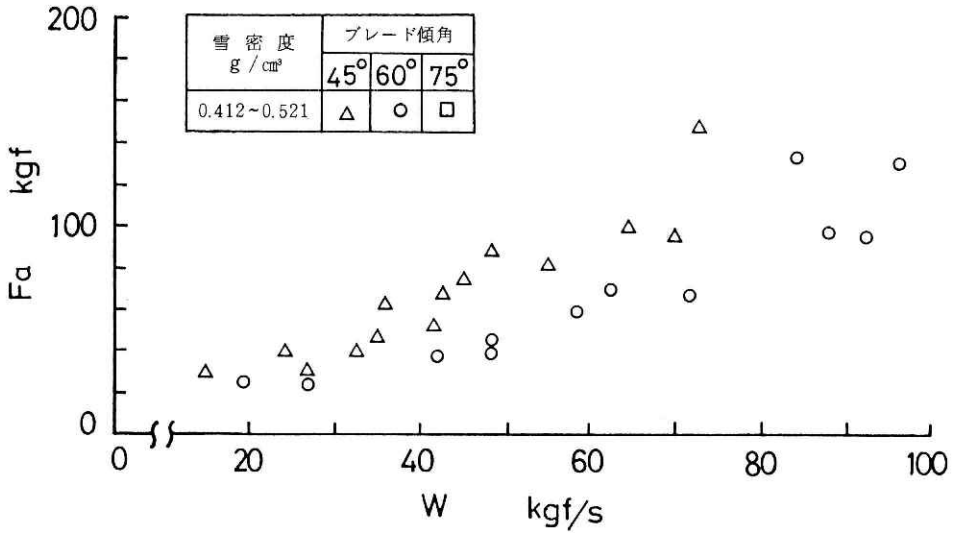


図 9.2 半断面除雪の除雪重量  $w$  とオーガ除雪抵抗  $F_a$  の関係.

Fig. 9.2 Same as Fig. 9.1 (Snow removing of a half of the auger width).

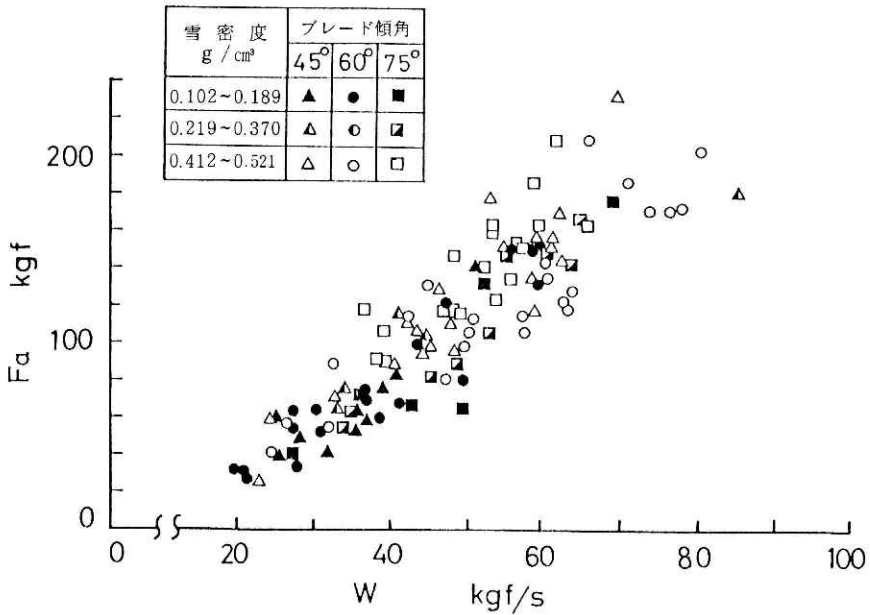


図 9.3 全断面除雪の除雪重量  $w$  とオーガ除雪抵抗  $F_a$  の関係.

Fig. 9.3 Same as Fig. 9.1 (Snow removing of a whole section of the auger).

オーガの雪輸送量の算定式

$$q_a = \nu_a N_j \pi \{ r_a^2 - (r_a - b_a)^2 \} P_i \frac{u_a}{2\pi r_a}$$

$$p_i = \frac{2\pi r_a}{\tan \alpha}$$

$$\therefore q_a = \nu_a N_j \pi b_a (2r_a - b_a) u_a \cot \alpha \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで

$q_a$	オーガの毎秒雪輸送体積	$m^3/s$
$\nu_a$	オーガ内の雪の圧縮率	
$N_j$	オーガブレードの条数	
$r_a$	オーガの半径	$m$
$b_a$	オーガブレードの高さ	$m$
$p_i$	オーガブレード 1 条のピッチ	$m$
$u_a$	オーガの周速度	$m/s$
$\alpha$	ブレード傾角	度

さらに図 9 によると、低断面、半断面、全断面のすべての断面除雪において、除雪抵抗は相当ばらついている。これは除雪対象の積雪の雪質が同じでも、力学的強度が変動することと、オーガの雪切削速度や切削厚さの変化によって、雪の切削抵抗が変化するためと推測される。

5.1.2 オーガの切削速度と除雪抵抗

オーガブレードの雪削速度は、オーガの外周の回転周速度に等しい。オーガの周速度  $u_a$  とオーガの除雪抵抗  $F_a$  の関係を図 10 に示す。図 10 によるとすべての断面除雪で、オーガの除雪抵抗はオーガの周速度の増加とともに減少している。

これについては次のように考えられる。図 8.2 および(2)式で示されるブレードの雪切削厚さは、オーガ周速度に反比例して減少する。オーガの除雪抵抗はブレードの雪切削厚に比例すると考えられるので、オーガ周速度の増加とともに除雪抵抗が減少する。

$$t_s = \frac{\pi r_a v}{1.8 N_j u_a} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで

$t_s$	オーガの回転軸を含む水平面におけるブレード 1 回転の雪切削厚	$m$
$v$	除雪速度	$km/h$

雪質による除雪抵抗の差については、低断面除雪、全断面除雪ともにざらめ雪の除雪抵抗が新雪、しまり雪のそれより大きい。

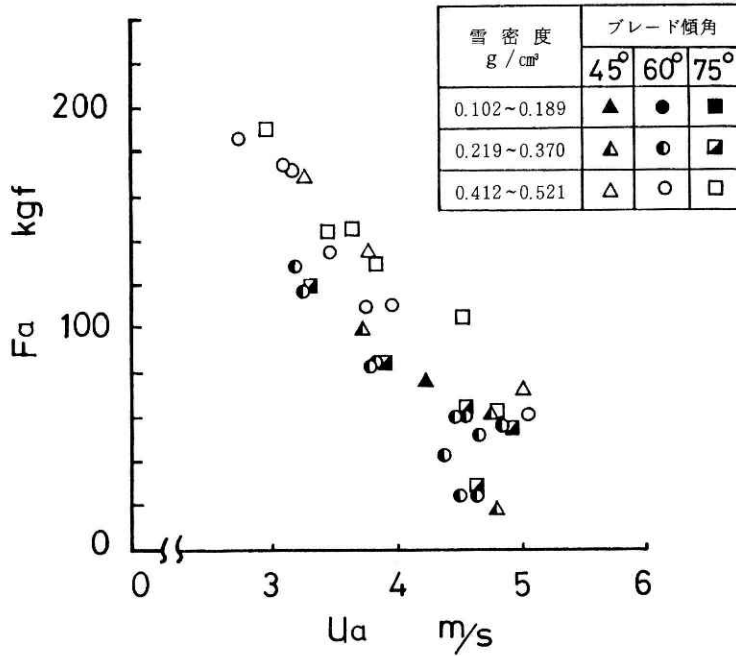


図 10.1 低断面除雪のオーガ周速度  $u_a$  とオーガ除雪抵抗  $F_a$  の関係.

Fig. 10.1 Relation between auger circumferential speed  $u_a$  and snow removing resistance of auger  $F_a$  (snow removing of a less height of snow than the auger height).

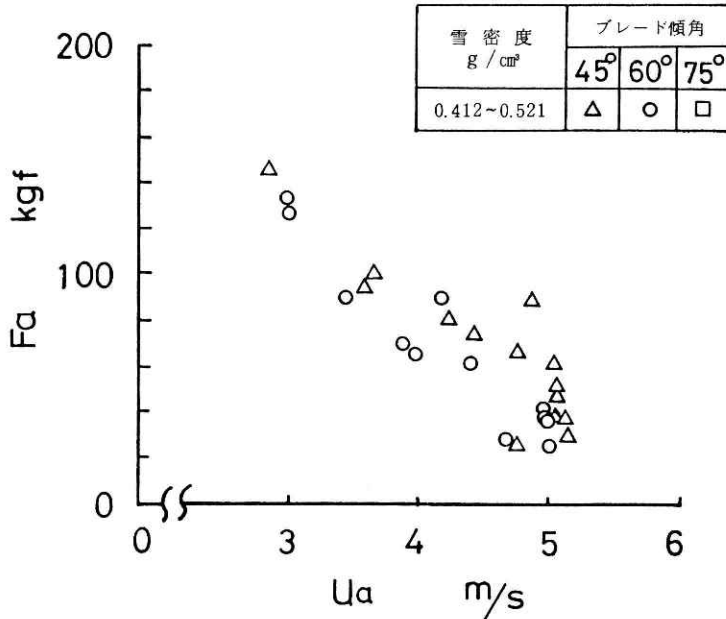


図 10.2 半断面除雪のオーガ周速度  $u_a$  とオーガ除雪抵抗  $F_a$  の関係.

Fig. 10.2 Same as Fig. 10.1 (snow removing of a half of the auger width).

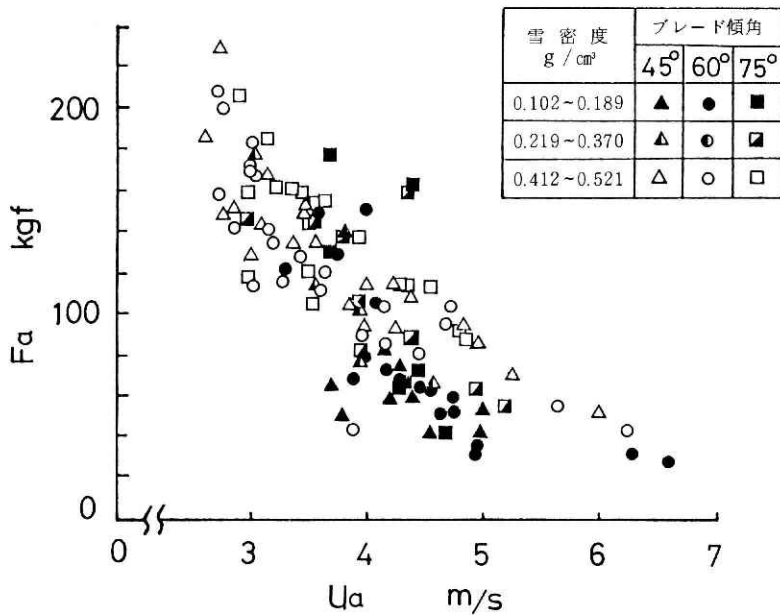


図 10.3 全断面除雪のオーガ周速度  $u_a$  とオーガ除雪抵抗  $F_a$  の関係。

Fig. 10.3 Same as Fig. 10.1 (snow removing of a whole section of the auger).

ブレード傾角による除雪抵抗の差については、すべての除雪断面で、ブレード傾角  $60^\circ$  のオーガの除雪抵抗が他のオーガのそれより小さいといえよう。この理由は前節に記したと同様と考えられる。

除雪断面積による除雪抵抗の差については、断面積の大きさの順すなわち、全断面除雪(断面積  $1.19 \text{ m}^2$ )、低断面除雪(同  $0.85 \text{ m}^2$ )、半断面除雪(同  $0.6 \sim 0.7 \text{ m}^2$ ) の順に除雪抵抗が減少している。全断面除雪と半断面除雪では、除雪高さがともに  $0.7 \text{ m}$  であるので、除雪幅に対応した除雪抵抗となっている。たとえば、密度  $0.4 \text{ g/cm}^3$  以上のざらめ雪のオーガ周速度  $4 \text{ m/s}$  の半断面の除雪抵抗は、図 10.2 より約  $80 \text{ kgf}$  と見積られ、同条件の全断面の除雪抵抗は、図 10.3 より約  $120 \text{ kgf}$  と見積られ、両者の比は概ね除雪幅の比に等しい。

### 5.1.3 オーガの除雪能率

オーガの除雪抵抗と除雪重量、オーガ周速度の関係を図 9、図 10 に示したが、それらに関連づけて、オーガの周速度  $u_a$  とオーガの除雪能率  $J_a$  の関係を図 11 に示す。

オーガの除雪能率は、オーガが受ける除雪抵抗に対応してオーガが発揮する工率(仕事率)の  $1 \text{ ps}$  当りの 1 時間の除雪重量で示され、除雪のエネルギー消費の良否の目安となるものである。除雪能率は次式で示される。



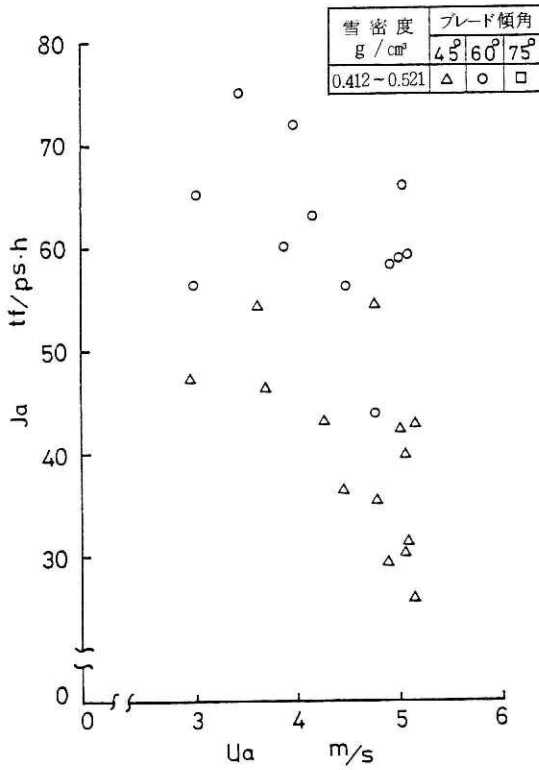


図 11.2 半断面除雪のオーガ周速度  $u_a$  とオーガ除雪能率  $J_a$  の関係.

Fig. 11.2 Same as Fig. 11.1 (snow removing of a half of the auger width).

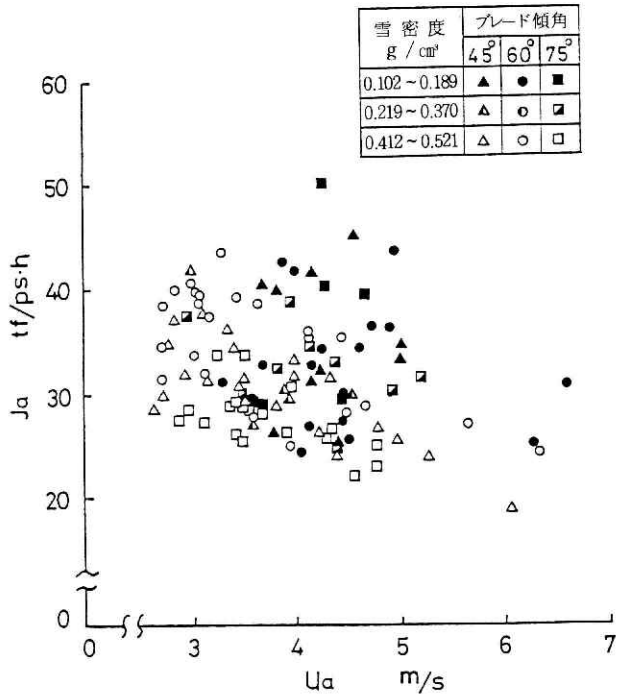


図 11.3 全断面除雪のオーガ周速度  $u_a$  とオーガ除雪能率  $J_a$  の関係.

Fig. 11.3 Same as Fig. 11.1 (snow removing of a whole section of the auger).

速度の増大とともに直線に近い形で減少している。

(4)式によると、除雪能率  $J_a$  は除雪重量  $W$ 、除雪抵抗  $F_a$ 、周速度  $u_a$  の関数である。一方、図9によると  $F_a$  は概ね  $W$  の一次関数で示されるので、結局  $J_a$  は  $u_a$  のマイナス1乗に比例して増加することとなり、これで図11の  $u_a$  の関係が定性的に説明できる。

雪質による除雪能率の差については、低断面除雪、全断面除雪ともに、新雪、しまり雪の除雪能率がざらめ雪のそれより大きい。これは図9に示されるように、同一除雪重量に対して、新雪、しまり雪の除雪抵抗がざらめ雪のそれより小さいためである。

ブレード傾角による除雪能率の差については、3除雪断面ともに、ブレード傾角  $60^\circ$  のオーガの除雪能率が他のオーガのそれより大きい。これは図9、図10に示されるように、同一の除雪重量またはオーガ周速度に対して、ブレード傾角  $60^\circ$  のオーガの除雪抵抗が他のオーガのそれより小さいことに起因している。

除雪能率が大きいことは、単位消費エネルギーに対して除雪重量が大きいことを示し、実際の除雪作業では除雪能率が大きいことが望ましい。除雪能率を大きくするにはオーガの周速度を小さくすればよいことになる。ただし、オーガ周速度を小さくすると、(1)式で示されるように、オーガの雪輸送量が減少し、オーガ内の雪が過密充填状態となり、5.1.1に記したように除雪抵抗が増大し、結果として除雪能率が低下する。除雪作業においては、除雪重量と除雪能率が具合良くバランスする周速度を選定することが望ましいといえる。

この試験の結果から、3種のオーガのうちブレード傾角  $60^\circ$  のオーガが実用上有利であると言えよう。

## 5.2 ブロウの除雪動力

ブロウの機能はオーガにより切削細分されて中央に輸送された雪に、回転するブロウプレートにより運動のエネルギーを与え、ブロウケーシングの投雪口から雪を遠方に投雪するものである。この動作によりブロウプレートは雪から抵抗を受ける。これがブロウの除雪抵抗である。

除雪抵抗は図6に示される方法により、ブロウのトルクとして測定されるので、ブロウの除雪抵抗は正味ブロウトルクをブロウプレートの回転半径で除して求められる。

試験条件はオーガの除雪動力と同じである。

### 5.2.1 除雪重量とブロウの除雪抵抗

除雪試験の結果得られた毎秒の除雪重量  $w$  とブロウの除雪抵抗  $F_b$  の関係を図12に示す。

雪質による除雪抵抗については、新雪、しまり雪の除雪抵抗がざらめ雪の抵抗より大きくなっている。これはオーガの除雪抵抗と反対の現象である。このことは、栗山・渋谷(1978)が大型道路用除雪車の試験の結果指摘した、雪とブロウケーシングの間の摩擦で、しまり雪の摩擦がざらめ雪のそれより大きいために、しまり雪のブロウ除雪抵抗がざらめ雪より大き



くなることと同様な理由と考えられる。

ブレード傾角による除雪抵抗の差については、オーガの除雪抵抗の場合のように、明確な差異は認められない。これはブレード傾角による影響が、ブロウ内の雪の挙動に及ばないことを示している。

除雪断面の大きさ、形状による除雪抵抗の差については、オーガの除雪抵抗の場合のように、明確な差異は認められず、各除雪断面とも同一除雪重量に対して、除雪抵抗は概ね同じ大きさとなっている。

この除雪重量と除雪抵抗の関係で特徴的なことは、除雪重量が、50 kgf/s 附近から除雪抵抗の増加率が減少することである。この原因としては次のことが考えられる。

図 12 において除雪重量が 50 kgf/s より大きいプロット点の、式(5)で示されるブロウ充填率は、新雪、しまり雪で 0.3 以上、ざら雪で 0.25 以上で、除雪重量の増加とともに増加している。除雪重量 100 kgf/s 附近では新雪、しまり雪、ざらめ雪のブロウ充填率は 0.6 以上となり、新雪、しまり雪がやや大きい。

ブロウ充填率とは除雪中のブロウの中の雪の充填率で、ブロウ 1 回転の除雪体積をブロウの実容積で除した値で、次式で求められる。

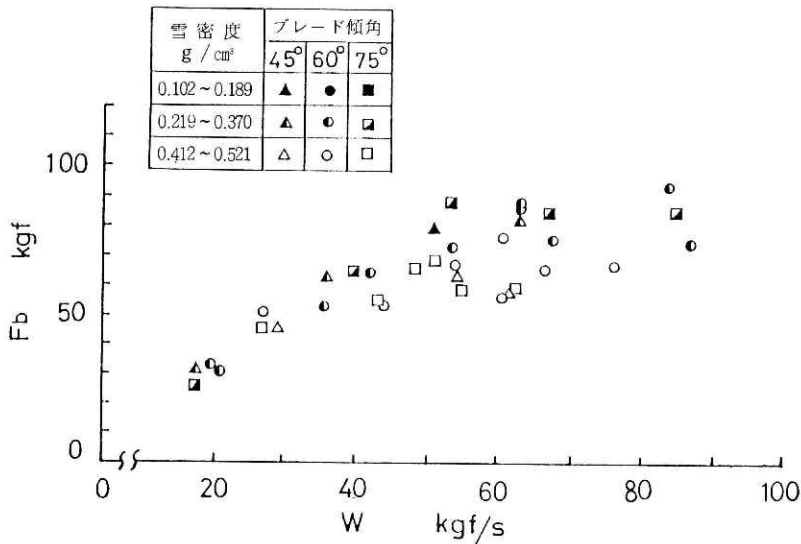


図 12.1 低断面除雪の除雪重量  $w$  とブロウ除雪抵抗  $F_b$  の関係。

Fig. 12.1 Relation between snow removing weight  $w$  and snow removing resistance of blower  $F_b$  (snow removing of a less height of snow than the auger height).

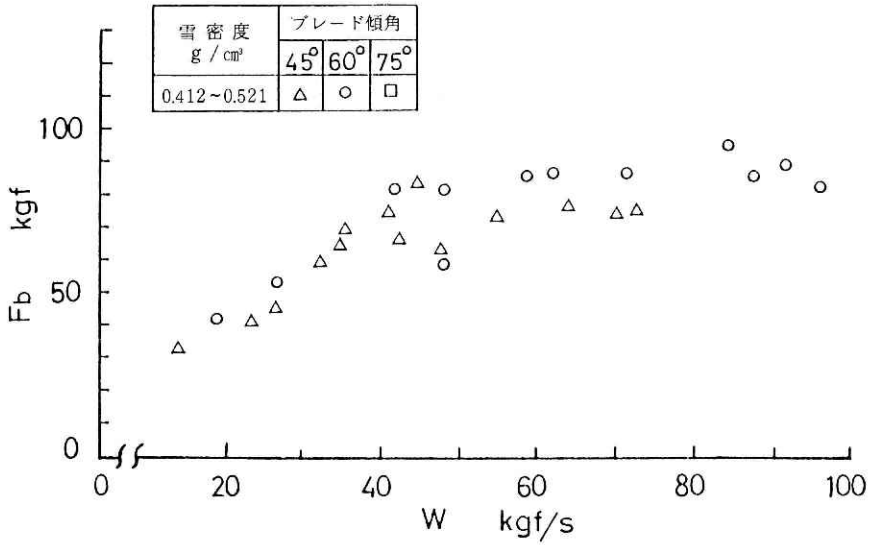


図 12.2 半断面除雪の除雪重量  $w$  とプロワ除雪抵抗  $F_b$  の関係.

Fig. 12.2 Same as Fig. 12.1 (snow removing of a half of the auger width).

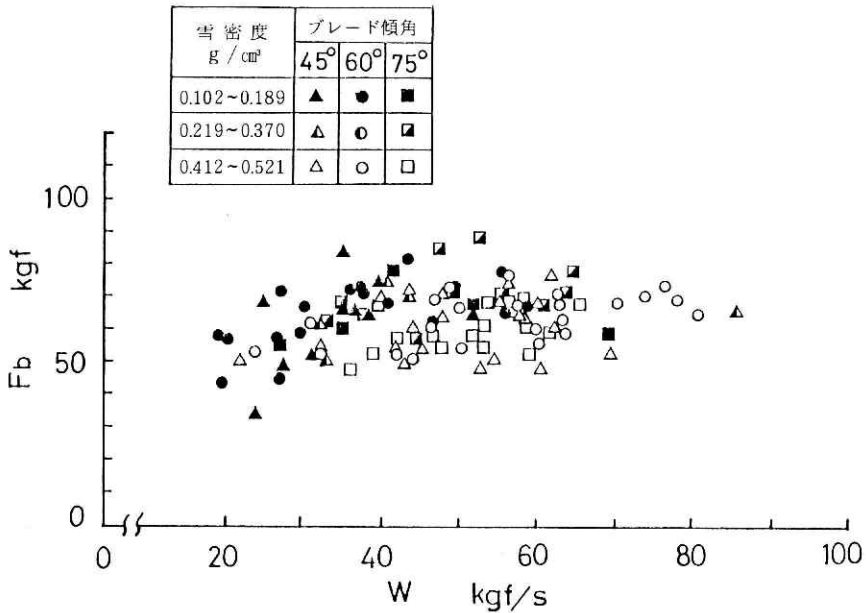


図 12.3 全断面除雪の除雪重量  $w$  とプロワ除雪抵抗  $F_b$  の関係.

Fig. 12.3 Same as Fig. 12.1 (snow removing of a whole section of the auger).

$$Z_b = \frac{2\pi r_b V_s}{u_b B_v} \dots\dots\dots (5)$$

ここで

$Z_b$	ブロウ充填率	
$r_b$	ブロウ半径	m
$V_s$	毎秒除雪体積	m <sup>3</sup> /s
$B_v$	ブロウ実容積	m <sup>3</sup>

(試験除雪車の  $B_v = 0.0672\text{m}^3$ )

ブロウ充填率が大きくなると、ブロウ内の雪の自由運動空間が小さくなり、ブロウ内の雪塊同志の衝突などによるエネルギー損失が相対的に小さくなるために、除雪重量の増加に対する除雪抵抗の増加率が減少すると考えられる。

また、図 12 のプロット点の試験データでは、除雪重量の増加につれて、エンジンの回転速度は減少している。除雪重量 50 kgf/s 附近では、エンジンの回転速度は約 2700 rpm で、エンジンの定格回転速度 2800 rpm の約 96% であった。除雪重量 100 kgf/s 附近では、エンジン回転速度は約 1700 rpm で、定格回転速度の約 60% であった。このエンジンの性能曲線図によれば、2700~1700 rpm の回転速度の範囲でエンジンの回転速度が減少しても、エンジンのトルクは減少しないので、エンジントルクの影響で、図 12 に示されるようなブロウトルクすなわちブロウ除雪抵抗の増加率が減少するとは考えられない。

### 5.2.2 ブロウの回転周速度と除雪抵抗

ブロウの回転周速度は、ブロウプレートの外側端面の回転時の周速度である。ブロウの回転周速度  $u_b$  と除雪抵抗  $F_b$  の関係を図 13 に示す。すべての除雪断面でブロウ周速度の増加とともに除雪抵抗は減少する。ただしプロット点は相当ばらついている。これはブロウの除雪抵抗はブロウ周速度に依存するほか、図 12 に示されるように除雪重量やブロウ内の雪の充填率などの影響を受けるためとみてよい。

低断面除雪では、新雪、しまり雪の除雪抵抗がざらめ雪のそれより大きい傾向を示す。これは図 12 と同様に、新雪、しまり雪とブロウケーシングの摩擦抵抗がざらめ雪のそれより大きいためと考えられる。

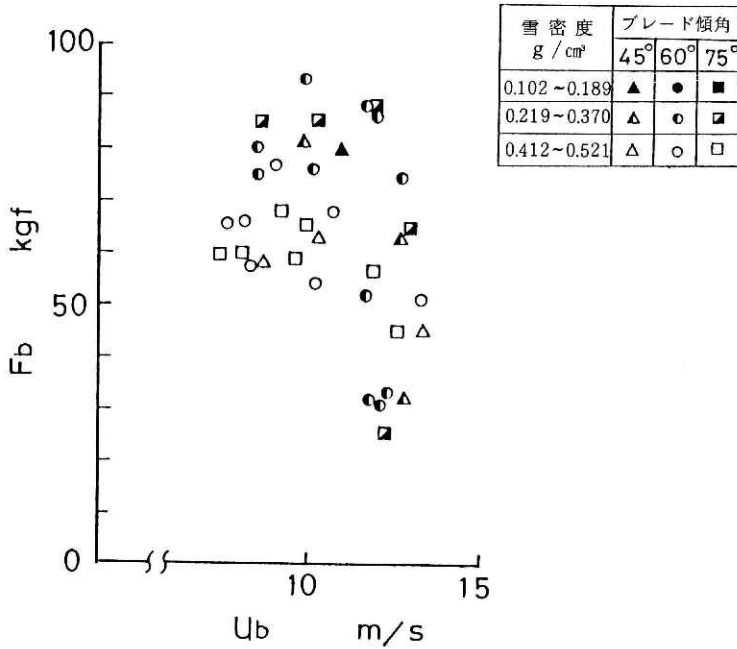


図 13.1 低断面除雪のプロワ周速度  $u_b$  とプロワ除雪抵抗  $F_b$  の関係.

Fig. 13.1 Relation between blower circumferential speed  $u_b$  and snow removing resistance of blower  $F_b$  (snow removing of a less height of snow than the auger height).

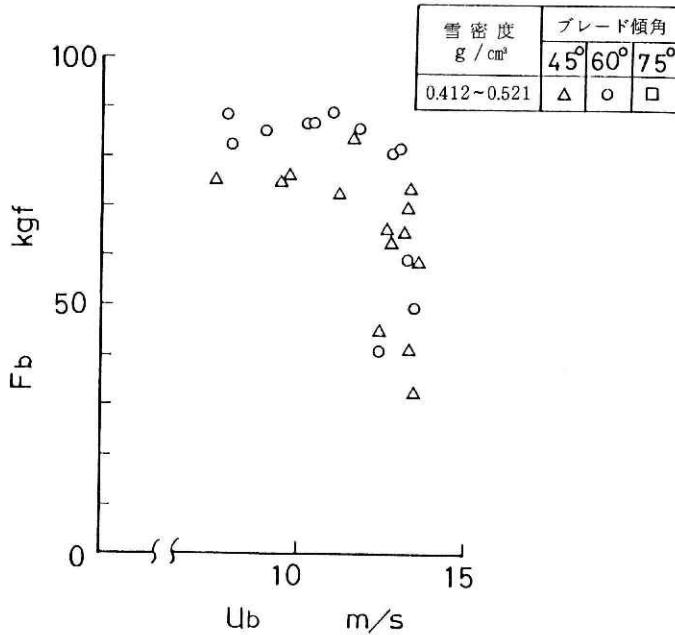


図 13.2 半断面除雪のプロワ周速度  $u_b$  とプロワ除雪抵抗  $F_b$  の関係.

Fig. 13.2 Same as Fig. 13.1 (snow removing of a half of the auger width).

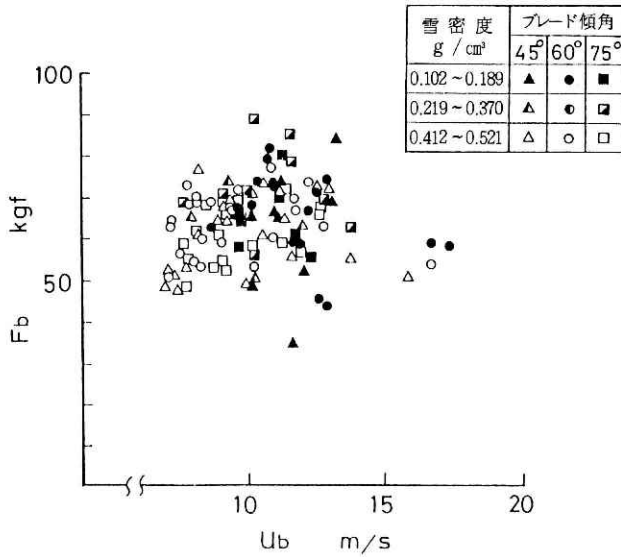


図 13.3 全断面除雪のプロウ周速度  $u_b$  とプロウ除雪抵抗  $F_b$  の関係.  
 Fig. 13.3 Same as Fig. 13.1 (snow removing of a whole section of the auger).

5.2.3 プロウ除雪能率

プロウの除雪エネルギー消費の良否の目安となるプロウ除雪能率  $J_b$  とプロウ周速度の関係を図 14 に示す。プロウ除雪能率は、プロウが受ける除雪抵抗に対応してプロウが発揮する工率の 1 ps 当りの 1 時間の除雪重量で示され、次式で計算される。

$$P_b = F_b \cdot u_b / 75 \dots\dots\dots (6)$$

$$J_b = W / P_b = \frac{75 W}{F_b \cdot u_b} \dots\dots\dots (7)$$

ここで

- $P_b$       プロウの工率                      ps
- $J_b$       プロウの除雪能率                  tf/ps・h

図 14 によると、3 除雪断面ともプロウの周速度の増加とともに、除雪能率は上方に凹の曲線状で減少している。

雪質による除雪能率の差については、全断面除雪ではざらめ雪の除雪能率が新雪、しまり雪の除雪能率よりやや大きい。低断面除雪ではしまり雪とざらめ雪の差は見られない。

ブレード傾角による除雪の差については、どの除雪断面でもブレード傾角による除雪能率の差は明確でない。これは 5.2.1 で説明したように、ブレード傾角による影響がプロウ内の雪の挙動に及ばないためと考えられる。

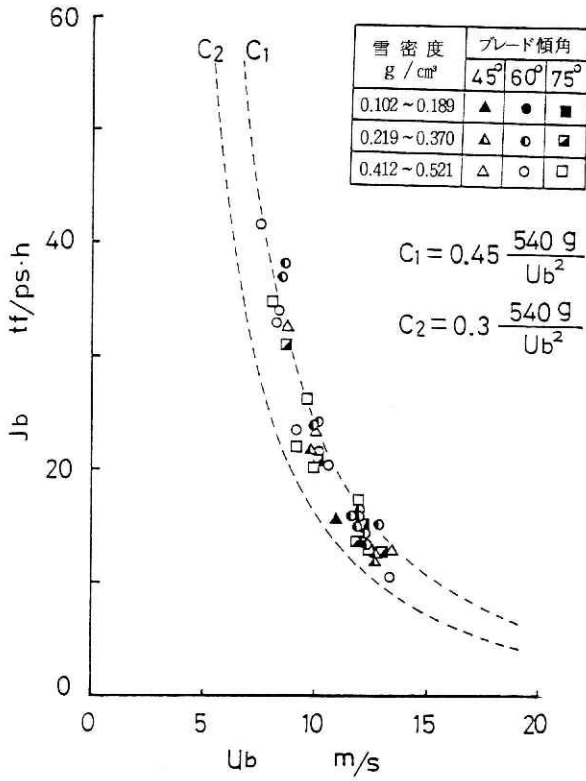


図 14.1 低断面除雪のプロフ周速度  $u_b$  とプロフ除雪能率  $J_b$  の関係.

Fig. 14.1 Relation between blower circumferential speed  $u_b$  and performance rate of snow removing of blower  $J_b$  (snow removing of a less height of snow than the auger height).

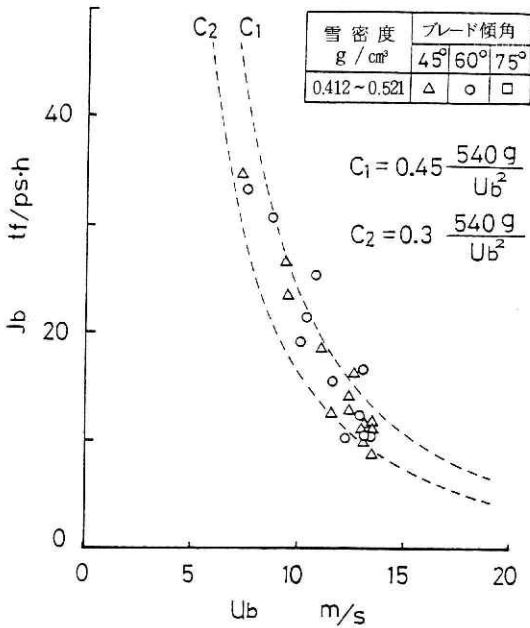


図 14.2 半断面除雪のプロフ周速度  $u_b$  とプロフ除雪能率  $J_b$  の関係.

Fig. 14.2 Same as Fig. 14.1 (snow removing of half of the auger width).

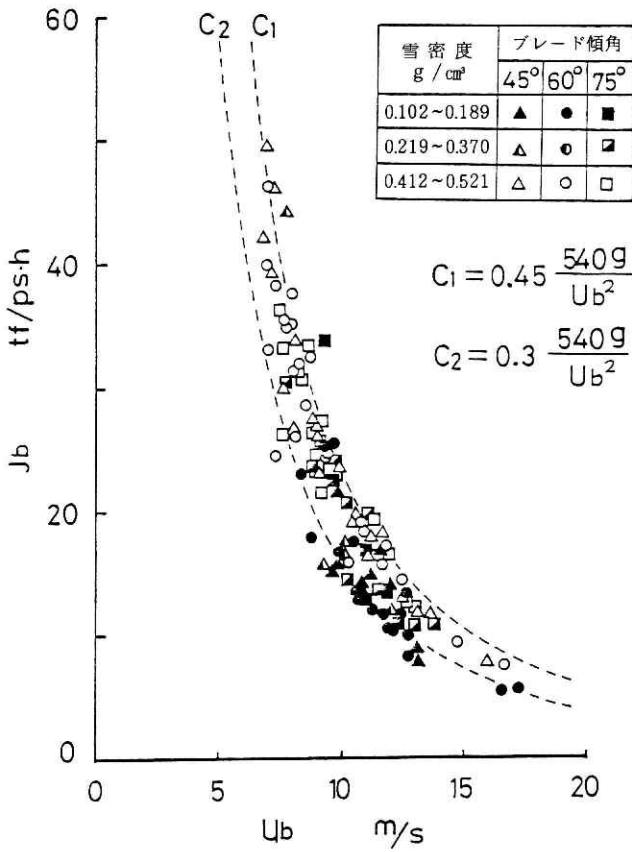


図 14.3 全断面除雪のプロウ周速度  $u_b$  とプロウ除雪能率  $J_b$  の関係.

Fig. 14.3 Same as Fig. 14.1 (snow removing of a whole section of the auger).

ここで実際のプロウ除雪能率と理論プロウ能率を比較してみる。理論プロウ除雪能率  $J_{bt}$  は次式で求められる (栗山・渋谷, 1978)。

$$J_{bt} = W/P_{bt}$$

$$P_{bt} = \frac{1}{2} \cdot \frac{W}{3.6g} \cdot u_b^2 \cdot \frac{1}{75} = \frac{Wu_b^2}{540g} \dots\dots\dots(8)$$

$$J_{bt} = 540g/u_b^2 \dots\dots\dots(9)$$

ここで

- $P_{bt}$     理論プロウ除雪工率            ps
- $g$        重力の加速度                    m/s<sup>2</sup>

図 14 に  $C_1$ 、 $C_2$  曲線が破線で示されており、曲線の式は次のとおりである。

$$C_1 \text{ 曲線 } J_b = 0.45 \frac{540g}{u_b^2} = 0.45J_{bt}$$

$$C_2 \text{ 曲線} \quad J_b = 0.3 \frac{540g}{u_b^2} = 0.3J_{bt}$$

図14によると、3除雪断面ともにプロット点の大部分は  $C_1$ ,  $C_2$  の曲線の間分布することから、実際のブロワ除雪能率は理論除雪能率の45~30%であるといえる。これは幹線道路大型ロータリ除雪車の試験で得られたブロワ除雪能率と同じ傾向である(栗山・渋谷, 1978)。

ブロワ除雪能率がブロワ周速度のマイナス2乗に比例することから、除雪のエネルギー効率を向上させるにはブロワ周速度を小さくして除雪を実行すればよいが、必要な投雪距離を保持できなかつたり、(5)式で示されるブロワ内の雪の充填率が1以上となるなど不都合なことも発生するので、作業条件に適合するブロワ周速度の選定が必要である。

### 5.3 オーガとブロワの工率の関係

オーガの除雪抵抗とブロワの除雪抵抗は図10, 図13に示されるように、それぞれの回転周速度に依存して変化する。したがって、除雪抵抗と周速度の積に比例するオーガの除雪工率、ブロワの除雪工率は、それぞれの周速度の関数となる。オーガとブロワの回転速度比は一定であるが、オーガの除雪抵抗、ブロワの除雪抵抗は図10, 図13に示されるように、周速度の増加による除雪抵抗の変化の様相が異なるので、両者の除雪工率の関係は周速度によって変化するはずである。

図15にオーガ周速度  $u_a$ , ブロワ周速度  $u_b$  とブロワ・オーガ除雪工率比  $R_p$  ( $R_p = P_b/P_a$ ) の関係を示す。図15によると、3除雪断面について、 $R_p$  はそれぞれの周速度の増加とともに、上方に凹の曲線状に増加する。

ブロワ周速度が5~10 m/sの間では、3除雪断面の  $R_p$  の値は1より大きい。つまり、ブロワ除雪工率がオーガ除雪工率より大きくなることを示す。ブロワ周速度が10 m/sを超えると、 $R_p$  は3~6となり、ブロワ除雪工率がオーガのそれに対して3~6倍と急増することがわかる。

低断面除雪、全断面除雪では、新雪、しまり雪の  $R_p$  がざらめ雪の  $R_p$  より大きい。これは、図10.1, 図10.3に示されるように、同一オーガ周速度に対して、新雪、しまり雪の除雪抵抗がざらめ雪のそれより小さいことと、図13.1, 図13.3に示されるように、同一ブロワ周速度に対して、新雪、しまり雪の除雪抵抗がざらめ雪のそれより大きいことに起因している。

ブレード傾角による  $R_p$  の変化については、5.1.1に説明したように、ブレード傾角  $60^\circ$  のオーガの除雪抵抗が他の傾角のオーガのそれより小さいことと、5.2.1に説明したように、ブロワの除雪抵抗はオーガの傾角の影響を受けないことにより、ブレード傾角  $60^\circ$  のオーガの  $R_p$  が他のオーガの  $R_p$  より大きくなる。このことは、図15の3除雪断面について認められる。



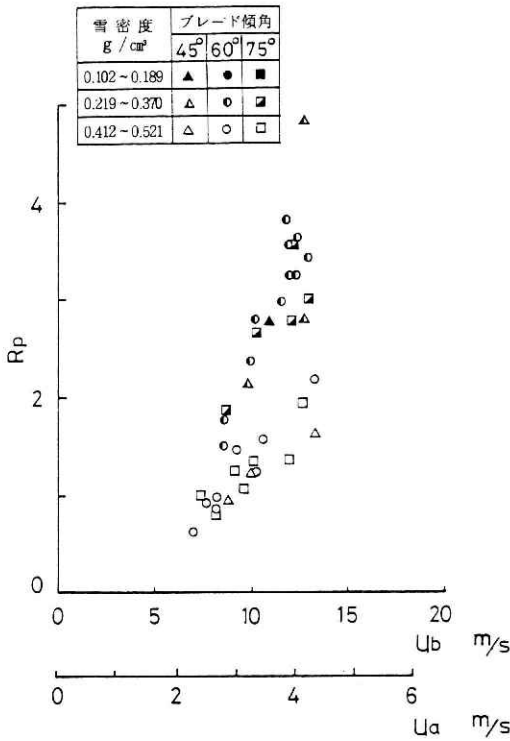


図 15.1 低断面除雪のオーガ周速度  $u_a$ 、ブロワ周速度  $u_b$  とブロワ・オーガ除雪工率比  $R_p$  の関係。

Fig. 15.1 Relation between auger circumferential speed  $u_a$ , blower circumferential speed  $u_b$  and snow removing power ratio of blower to auger  $R_p$  (snow removing of a less height of snow than the auger height).

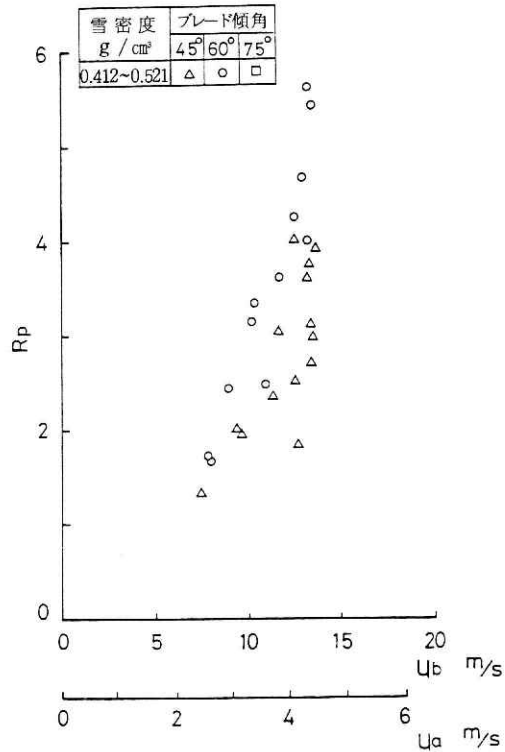


図 15.2 半断面除雪のオーガ周速度  $u_a$ 、ブロワ周速度  $u_b$  とブロワ・オーガ除雪工率比  $R_p$  の関係。

Fig. 15.2 Same as Fig. 15.1 (snow removing of a half of the auger width).

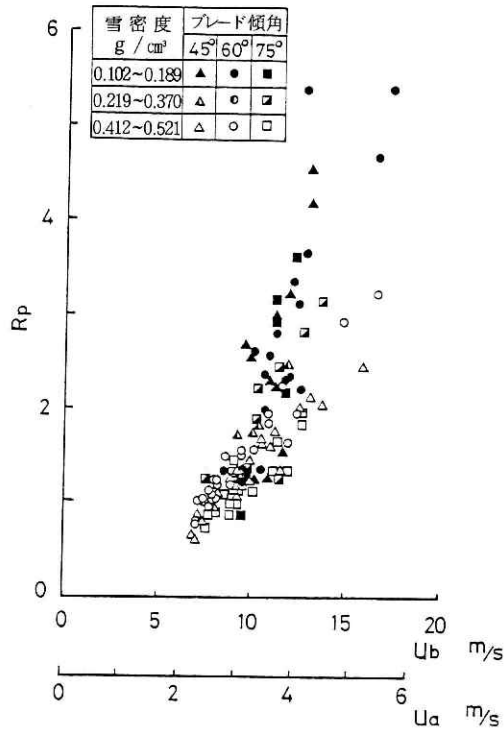


図 15.3 全断面除雪のオーガ周速度  $u_a$ 、プロウ周速度  $u_b$  とプロウ・オーガ除雪工率比  $R_p$  の関係。

Fig. 15.3 Same as Fig. 15.1 (snow removing of a whole section of the auger).

次に  $R_p$  と除雪抵抗, 除雪能率の関係を示す。

$$R_p = \frac{P_b}{P_a} = \frac{W/J_b}{W/J_a} = \frac{J_a}{J_b} \dots\dots\dots (10)$$

((4)式より  $P_a = W/J_a$ , (7)式より  $P_b = W/J_b$ )

同様にして, (3)式(6)式を用いて

$$R_p = \frac{F_b u_b}{F_a u_a} = k \frac{F_b}{F_a} \dots\dots\dots (11)$$

ここで  $k$  は定数で次に示される。

$k = \frac{r_b}{\lambda r_a}$  で  $\lambda$  はプロウに対するオーガの回転速度比で, 試験除雪車の場合 0.325 である。

## 6. 結 語

農業用トラクターをベースマシンとしたツーステージ型ロータリ除雪車を試験車として, 自然積雪を対象に, ロータリ除雪装置の動力特性の試験を実施し, 次の結果を得た。

(1) オーガの除雪動力特性

- ① オーガの除雪抵抗は概ね単位時間当たり除雪重量の1次に比例して増加する。
- ② ブレード傾角と除雪抵抗の関係では、ブレード傾角 $60^{\circ}$ のオーガの除雪抵抗がブレード傾角 $45^{\circ}$ 、 $75^{\circ}$ のオーガのそれより小さい。
- ③ 雪質と除雪抵抗の関係では、同一の単位除雪重量に対して、新雪、しまり雪の除雪抵抗がざらめ雪のそれより小さい。
- ④ オーガの除雪能率はオーガ周速度の概ねマイナス1乗に比例して増加する。ブレード傾角による差については、ブレード傾角 $60^{\circ}$ のオーガの除雪能率が、他のオーガの除雪能率より大きい。

(2) ブロウの除雪動力特性

- ① 雪質と除雪抵抗の関係では、新雪、しまり雪の抵抗がざらめ雪の除雪抵抗より大きい。これは、新雪、しまり雪とブロウケーシングの間の摩擦抵抗が、ざらめ雪のそれより大きいことに起因すると考えられる。
- ② ブレード傾角の影響がブロウ内の雪の挙動にほとんど及ばないので、ブロウ除雪抵抗はオーガの傾角に無関係である。
- ③ ブロウ除雪能率はブロウ周速度のマイナス2乗に比例して増加する。実ブロウ除雪能率は理論ブロウ除雪能率の30~45%である。

(3) ブロウ・オーガ除雪工率比

- ① ブロウ・オーガ除雪工率比は、ブロウ、オーガの周速度の増加とともに、上方に凹の曲線状に増加する。
- ② 上記工率比はブロウ周速度5~10 m/sで1を超え、周速度が10 m/sを超えると、3~6となり、除雪動力におけるブロウ除雪動力の比率が急増する。

(4) 問題点

- ① 本論文では除雪試験のデータにより、ロータリ除雪装置の除雪動力と雪質、ブレード傾角、オーガ・ブロウの回転速度について、主として定性的な解析を行ない、ロータリ除雪装置の性能向上に有用なデータと知見を得た。このことについて、さらに理論的解析が必要である。
- ② 雪はその組織が変化し易く、変形強度は加えられる力の速さによって変化する(木下, 1985)(栗山, 1984)など、その力学的特性は多様であるが、上記の解析に雪の力学的強度を導入することが必要である。
- ③ 次の第二報では、ロータリ除雪装置の除雪動力の理論解析を行なう予定である。

## 7. 謝 辞

本研究は科学技術庁所管の雪害対策特別研究費による生活関連雪害防止技術の開発研究の一かんとして実施されたものである。

本研究を実施するにあたり、国立防災科学技術センターおよび同雪害実験研究所の関係者の皆様から、多大の御指導と御支援を得た。

以上を記して感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 木下誠一 (1958) : 積雪における変形速度と変形形式との関係II. 低温科学物理論, No. 17, 11-31.
- 2) 木下誠一 (1960) : 積雪の硬度I. 低温科学物理編, No. 19, 119-134.
- 3) 栗山弘・渋谷満 (1978) : ロータリ除雪機のプロワ動力・雪氷, Vol. 40, No. 4, 16-23.
- 4) 栗山弘 (1981) : 雪処理におけるエネルギー消費. 防災科学技術, No. 44, 15-19.
- 5) 栗山弘 (1984) : 雪のペーン剪断強度. 雪氷, Vol. 46, No. 3, 101-108.
- 6) 長田忠良・三日月晋一・小林俊市 (1974) : ロータリ除雪車の高速化に関する研究. 防災科学技術総合研究報告, 33, 55-72.
- 7) SHIBUYA, M. and KURIYAMA, H. (1979) : On Performance of Two Stage Rotary Snow Blower. Snow Removal and Ice Control Research, Special Report 185, NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE, WASHINGTON, D. C. 185-191.
- 8) 下田茂・佐藤謙吉 (1969) : ロータリ除雪機の基礎的研究(第一報). 雪氷, Vol. 31, No. 4, 1-10.
- 9) 下田茂・古川洋 (1971) : ロータリ除雪機の基礎的研究(第二報). 雪氷, Vol. 33, No. 1, 28-35.
- 10) 下田茂・千木良暁司・石橋達弥 (1977) : ロータリ除雪機の研究. 新潟大学工学部雪氷工学研究報告, No. 1, 51-58.
- 11) 東北技術事務所 (1975) : ロータリ除雪車に関する調査試験報告書. 建設省東北技術事務所.

(1985年6月17日 原稿受理)