

3. 汎用木材加工機械の機能的安全化に関する研究

杉 本 旭*
佐 藤 吉 信*
深 谷 潔*

Study of the functional safety measures for multi-use woodworking equipments

by Noboru SUGIMOTO*
Yoshinobu SATO*
Kiyoshi FUKAYA*

Also to woodworking operation, as to any industrial operation, the new technology of production has been introduced : the automation, robotization, flexible automation system, which eliminate the necessity of the workers' operation.

Generally speaking, the technology have not widely extended, in almost of the woodworking industries, workers'skills and technics have been counted on in the operation of the traditional powered woodworking machines/equipments: the power circular saws, rip saws, band saws, planers, shapers and other multi-used machines.

Especially the powered circular saws have produced frequent accidents, in addition, number of the accident has not been decreased in these few years. There are two principal types of accidents involving powered circular saw: (1) contact by the operator, helper, takeaway man with the blade during operation and (2) kickbacks. The powerd circular saw as a object of the study is selected, safety measured are studied: fail-safe and fool-proof system in the operation.

According to the safety and sanitation rule, regarding wood working operation, every machine should stop by means of shutting off the power within five seconds after pushing a "stop switch". Electro-magnetic braking should be provided with the powered circular saw to stop it immediately. Because long free running time after stop-switching not only creates another unnecessary hazard that the worker may produce the unsafe conduct during free running, but also gives a loss to the production efficiency.

The braking system, capable of immediately stopping the saw, makes it possible to get the fool-proof system by electronically picking up unnecessary access to the saw blade and dangerous stock kickback. In this study, properly, executed the study on development of the finger sensor, kickback pickup, self-controlable hood guard and application of the equipments to the woodworking operation system.

はじめに

近年、産業技術の発展とともに木材加工技術もめざましい進歩を遂げているがこれらの技術が広く一般化されているとは言い難い。今だに木材加工機械による災害発生も多く、またこれらの災害のほとんどは、後遺障害を伴う悲惨なものであり、かねてより減少をはかるべき重点災害として取り上げられているものである。

木材加工用機械による災害を見ると、回転するのこ歯や刃物に手を触れて切断されるものと、反発によって材に打たれるものがほとんどであり、特にギャングリップなど大型の材を扱う場合には、材の反発は重傷を伴う大きな災害となる場合も少なくない。

最近、木材加工作業においても多くの自動化ラインの例を見ることが出来る。これらの自動化は多量生産にのり少品種のものに限られているが、作業の安全化にも大きく貢献している。しかし、木材加工業においては多品種少量生産の傾向がなお強く、自動化にのりにくい作業工程が大半を占めているのが実状である。

製造業一般においても、近年災害減少の停滞が見られるが、後述のシステム評価で述べるように、特に木材加工業では災害の増加傾向さえ見られる。この理由を他の業種に比べてまとめると、次のようになる。

- ① 単品手造りが主流を占めるように、多品種少量生産性の傾向が極度に強く、これが機械化・自動化の導入の障害となっている。
- ② しかも、近年、生産性向上が叫ばれるため、安全性を後手にまわす傾向がある。
- ③ また、木材加工業が不況下にあり、設備投資がされにくいいため、①とあいまって専用機を導入するよりは、昇降丸のこ盤など従来の汎用機で多種の作業をやらせようとする傾向が強い。
- ④ 木材加工業は小規模のものがほとんどを占め、また木工機械のメーカーもほとんどが中企業以下であり、革新技術の開発や他の業種からの技術移転（テクノロジ・トランスファ）がなされにくい。
- ⑤ 作業者の高齢化がすすむ業種であり、保守性が強く、新しい安全技術が導入されにくい。

しかし近年、大手楽器工場の例が示すように、木材加工業においてもFMS(Flexible Manufacturing System)が導入され、多種少量生産方式での自動化が

なされつつある。そこでは木材加工機械のデジタル制御化及び搬送装置の自動化によって生産ラインが構成され、コンピュータによる集中管理が行なわれている。その反面、旧態依然とした木材加工業者も多く、特に上記の理由からこのような底辺を占める大半の小規模工場ではむしろ安全性が以前より確保されにくくさえている。

このような格差を現実的な対策によって埋めるには、これまでとられてきた安全対策を広く徹底することも重要であるが、本研究の中で行なったシステム工学的研究において指摘されるように、これまでの安全装置が、時として全く使用不可能だとする作業があること、及び、重い、見にくいなどの理由から使用を拒否される場合が存在することも無視するわけにはいかない。したがって、単に現場に安全装置を押し付けるのではなく、新しい方式による安全手段を開発しその使用をうながすといった前向きな検討も必要である。

現在は技術革新の時代とも言われ、制御技術や検出技術が向上し、それを用いたフェールセーフシステムの試みも多くなされている。これらの中には木工機械に適用しうるものも少なくない。

これらを踏まえ、鋸刃に異常接近する手指を電氣的に検出して主軸を急停止させるシステムの開発を試みたが、安価な昇降丸のこ盤に数万円程度のブレーキ装置をつけることだけでも相当な反感があると聞く。木工機械の安全化が叫ばれ、しかも技術革新のこの時代に木工機械だけが旧態依然とした安全対策で赦される理由はどこにも存在しない。

しかし、この業界では、コスト面の制約は無視できないため、できる限り簡易でかつ有効な安全装置の開発といったアプローチも重要である。

ここでは特に昇降丸のこ盤作業を安全化研究の対象として設定したが、この機械は木工機械のうち最も災害の多い機械であり、しかも汎用性の高い機械であるため、固定の安全対策がとりにくいことなどから、現在、安全対策の抜本的な見直しが叫ばれているものである。

3.1 反発災害の防止に関する研究

3.1.1 研究目的

昇降丸のこ盤においては、割刃の使用が規定されているが、これにより多くの反発を防止することができる。しかし、割刃を用いると送給抵抗が増大して重くなるとか、調整が面倒だという理由で使用されない場合や、作業によっては割刃が全く使用できないと主張するものもあり、適切な状態で割刃が十分使用されているとは言えない。

後述する接触災害の防止研究においても同様、ここでも一貫して主軸に電磁ブレーキをつけることを前提として各種の機能的安全対策を検討した。危険な回転刃物を持つ機械に安全機能を付加するには最小限、電磁ブレーキの必要性を主張したい。

そこで、ここでは研究の目標を、反発現象を出来る限り早期に検出できるセンサの開発と、その信号を受けて主軸を急停止できる急停止装置の開発及びそれらによる反発エネルギー減少効果の評価という点に置いた。

3.1.2 反発停止システムの検討

(1) 反発防止爪の反発検出装置への応用

(a) 反発防止爪の特性実験

反発防止爪はリップ、ギャングリップにおける逆走

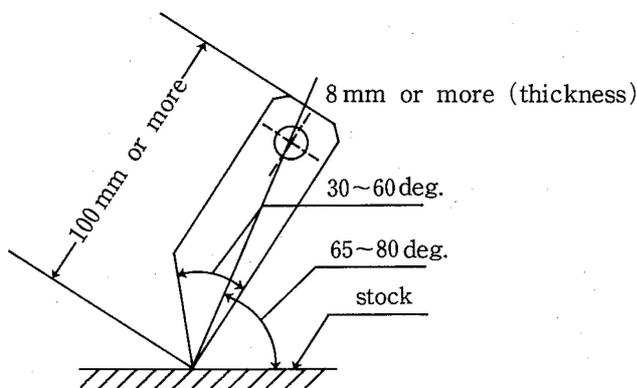


Fig. 3-1 Anti-Kickback fingers
(The Standard)
反発防止爪の構造規格



Fig. 3-2 Test for anti-kickback finger
反発防止爪の試験

防止装置として、すでに Fig. 3-1に示すように構造規格にも定められている。

本研究では、反発検出装置として反発防止爪の特性を利用するための検討を行なった。Fig. 3-2に示すようにフライス盤のテーブルに木材を固定し、供試爪をカッターアーバに自由に回転できるような状態で取付け、試験材表面にある角度(α)で接触させ、テーブルを左方向に送りつつ下方向に移動させて爪が材に引かかり始める接触角(α_c)を求める。爪は α が小さい間は材に引掛からず、ある角度以上になってはじめて引掛かる。その限界が α_c である。この引掛かる状態をより明確にするため及びカッターアーバに無理な力がかかるのを防ぐため電磁石を用いている。これにより、材が爪に引掛かった場合、電磁石が吸着面より外れるため、カッターアーバを保護するとともに、引掛かり耐力を一定にできる。ここでは引掛かり耐力を2kgとするよう電磁石に供給する電流を調整した。

Fig. 3-3実験で用いた供試用爪の各諸値を示したものである。また、供試材については、檜、杉、ラワンの三種類とし、それぞれ丸のこ切断面、鋸仕上げ面について実験を行なった。

Fig. 3-4は40回の試行に対して何回引かかったかの割合を示したものである。ここでは特に供試爪として、それぞれ① $l = 105\text{mm}$, $\theta = 52$ 度, ② $l = 74\text{mm}$, $\theta = 52$ 度の2種類について記してある。いずれの場合においても60度以上では材は完全に防上爪に引掛かることがわかる。

爪の先端の丸みが引掛かり特性に大きく影響すると

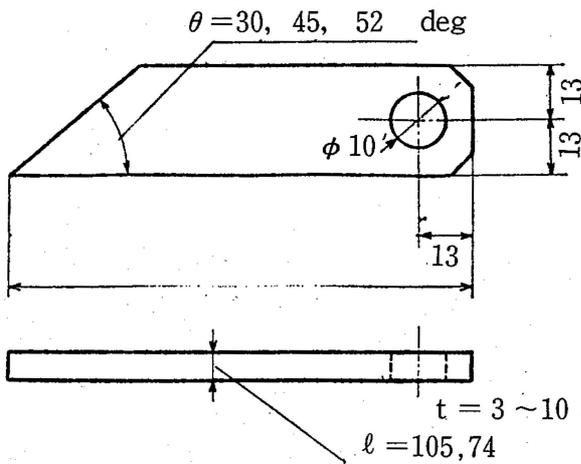
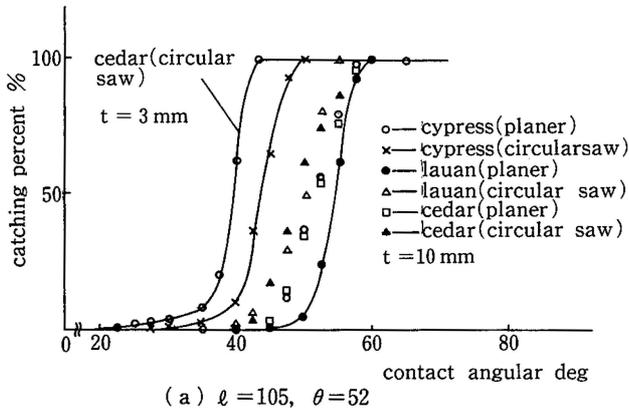
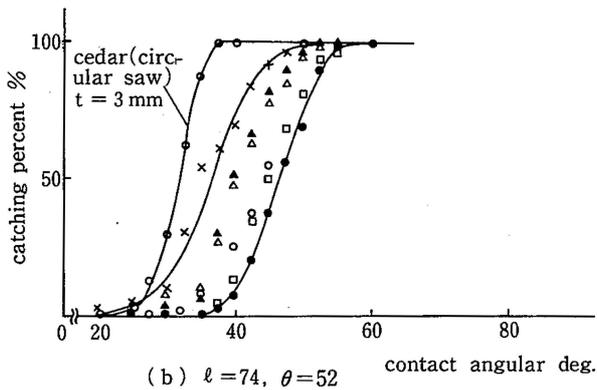


Fig. 3.3 Anti-kickback finger for testing



(a) $l = 105, \theta = 52$



(b) $l = 74, \theta = 52$

Fig. 3-4 Effectiveness in anti-kickback fingers due to the angular of contact.
接触角と反発防止効果の関係

予想したが、先端丸み径が0.5mmの場合と3mmの場合の α_c の比は1:1.1~1.2となり、大きな影響はないことがわかった。そして、ほとんどが70度以内で引かかると言える。しかし Fig. 3-4の中で反発防止爪の厚

さを3mmとした場合、引掛り特性が改善されることが明らかになったため、これらの結果より、一応の $\alpha_c = 60$ 度を目安にして、反発検出装置の設計を行った。

(b) 反発検出装置の設計とその効果

ここでは対象機械として昇降丸のこ盤を設定し、厚さ3mm以下から80mmにわたる広範囲の材がひき割りされることを念頭においている。そのため6枚の反発検出爪を組み合わせて任意の板厚に対しても、いずれか一枚以上の反発検出爪が60度以上の接触角をもって材面に接触するようにした。それぞれの反発防止爪の長さは図的方法により、 $l = 150, 130, 113, 98, 85, 74$ mmとなった。

Fig. 3-5は反発検出装置を示しているが、反発によって材が逆方向に移動すると、反発検出爪に引かかり、上方に働く力によってリミットスイッチが作動して反発検知信号を出すというものである。実験により、材の逆方向の動きは完全に検出可能であることがわかった。

(2) 主軸急停止装置

反発検出装置のリミットスイッチからの信号によって主軸を急停止させることにより、反発エネルギーを出来る限り小さくすることを検討した。

まず次の3つの方式を比較検討した。

- (イ) 主軸に電磁ブレーキを設置する
- (ロ) 主軸回転用モータをブレーキモータに変更する
- (ハ) 直流モータに変更して、サーボブレーキ、ダイナミックブレーキを付加する。
- (ニ) 上記の組合せとする。



Fig. 3-5 kickback pickup fingers
反発検出爪

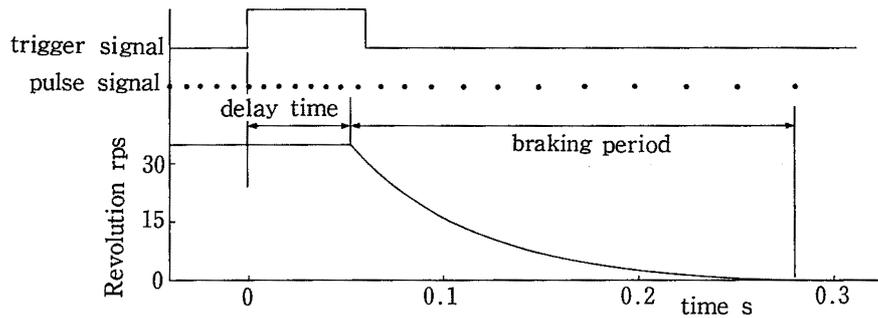


Fig. 3-6 characteristics of the electro-magnetic brake at the powered circular saw.

急停止装置の性能試験結果

これらのうち、サーボブレーキによる方式が最も応答性に優れていると言えるが、直流モータの回転制御を必要とするため暴走の危険性があること、及び高価となるなどの理由から検討から除外した。さらに、ダイナミックブレーキは応答性が劣るため同様に除外した。

(イ)の方式は、主軸を直接停止させるため最も応答性にすぐれていると思われるが、主軸とモータがV型ベルト結合になっているため、制動中に大きな振動を生じる。そのため、電磁ブレーキとブレーキモータを組合せる方式を採用してその特性実験を行ない、応答性改良に関する検討を行なった。

ここではBL-1.4Y(オグラクラッチ製ブレーキモータ1.4kW)を用い、昇降丸のこ盤に取り付けて実験を行なった。停止指令信号が入力してから主軸が完全に停止するまでの時間内に、ブレーキモータの制動時間以外のいくつかの遅れの要素が含まれている。これらの要素を明らかにするため、システムの制動特性を実測した。

ここでは、丸のこが回転しているか停止しているかを明確に識別するために、高性能変位計(小野測器製)を用いた。

Fig. 3-6は、丸のこ(厚さ3.2mm外径355mm)をつけた場合の制動特性の一例であるが、丸のこ外周近傍にある3つの穴を変位計が通過する時に出すインパルス信号(回転パルス)を同時に記録して主軸停止の判定を行なった。ただし主軸及び丸のこ等モータに対する負荷側のGD²は計算により0.01832kgm²を得ている。

同図によれば、システムの停止指令信号が入力してから0.28秒後に丸のこ主軸が停止することがわかる。これは材が刃に当たっているときのもので、材がないフ

リーの状態では0.39秒であった。この停止時間は、制御回路のリレー等による電氣的遅れ時間、ブレーキ連結遅延時間、ブレーキ時間の和として表わされる。これらはそれぞれ、概ね0.02秒、0.04秒、0.22秒である。

また、ブレーキ時間については、メーカ側資料によれば使用した昇降丸のこ盤のようにGD²が小さい場合は、0.17秒で停止できるとあり、ブレーキのディスク調整によって、今回の測定よりさらにこれに近づけるものと期待できる。

(3) 反発実験による反発停止システムの評価

(a) 反発実験

実験的に反発を発生させる手段はいくつか考えられるが、従来からある方法も含め整理してみると次のようなものが考えられる。

- (イ) 送り方向に対して斜めの方向に反発発生用ガイドを置き、のこ刃に対して板の向きをねじる。
- (ロ) バネなどで、両側から板をのこ刃を締付ける。
- (ハ) 横からハンマ等で衝撃力を加えて木材をのこ刃にたたきつける。
- (ニ) 横から一定圧力を加えて材をのこ刃側面に締め付ける。
- (ホ) (ハ)(ニ)と同様の方法で、のこ刃から外れた点に力を加えて、材をのこ刃に対してねじる。

これらをまとめると、のこ刃に対して材をねじるか、押し付けるかのいずれかの作用を、衝撃的に又は定常的にあるいは漸増的に与えればよいことになる。

より有効な反発発生装置を製作するため、反発発生方式について予備実験を行なった。その結果、(イ)以外の方式では実際に反発現象を確認することができた。(イ)で反発が見られなかったのは、ガイドによって押し付けられた材がのこ刃の歯の部分に当たって切れてしま

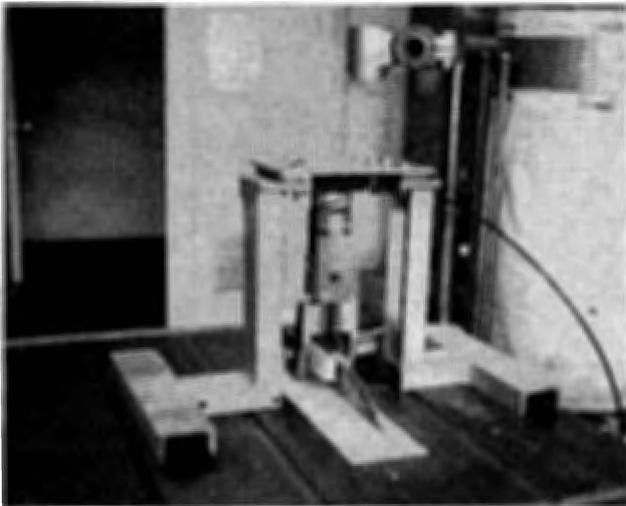


Fig. 3-7 The equipment for triggering kickback
反発発生装置

うため、反発に必要な力よりむしろガイドと材の間の摩擦の方が大きいと考えられる。また、(ロ)の手段ではかなり強い反発が見られたが、締め付け用のばねがローラに引かかるため、システムの有効性の評価の手段としては使用不可能である。さらに(イ)の方法では衝撃力の発生をばね力にたよったためもあり衝撃力の算定が難しく、また実験技術上、再現性も得られ難い。

これに対し(ニ)の横圧を与える方法は装置も簡単であり、締め付け力を発生させるのに空気圧シリンダを用いれば、締め付け力も自由にかつ十分な精度をもって設定でき、また再現性も良好であるため、Fig. 3-7に示すような反発発生装置を用いて反発実験を行った。

反発発生装置は、空気圧シリンダに空気を供給・排出することによって開閉できる空圧ロボットアームを利用したもので、材の締め付け力の設定は空圧を調整して行ない、電磁弁を開くことによって急速締め付けができる構造とした。ただし、反発材の接線方向にはなるべく力がかからないよう締め付け部に回転ローラを取付けている。

反発発生装置により、安全対策を何ら講じていない場合を想定して反発を起こさせ、その様子を高速度カメラに撮り、写真解析により反発特性を調べた。撮影速度は2000コマ/秒であり、また押し付け力は1, 2, 3, 4 kg・fの4種類である。

反発距離の時間的変化を Fig. 3-8に示す。予想されたように締め付け力が大きくなるに従って反発距離、反発速度が大きくなっている。傾きで表わされる反発

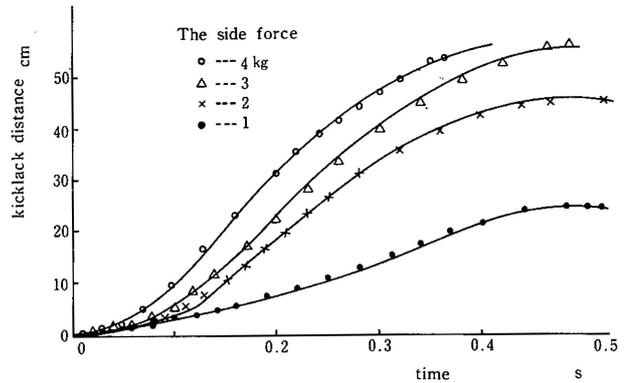


Fig. 3-8 The property of kickback distance
反発距離の時間的変化

速度は、締め付け力に対して速度が飽和する傾向が見られる。これは本研究で用いている昇降丸のこ盤の動力が余り大きくない(1.4kWモータ)ため、材の反発により生ずる負荷がモータにとって大きなものとなったと考えられる。そのため本実験では最高反発速度は1.8 m/sであり、実際の反発速度といわれる2~5 m/sに較べて小さな値となった。

そのため、さらに大きな能力の昇降丸のこ盤を対象とする場合は、反発速度がさらに大きくなることを考慮せねばならないであろう。

(b) 反発停止システムの評価

反発検出器の応答性は非常によいので(反発距離3 mmで反発を検出)、反発停止システムの応答性は先に示したようにほぼ0.17秒と見て良いであろう。したがって Fig. 3-8より、丸のこが停止した瞬間にはすでに反発の最高速度に達しているはずであるが、実験によると非常に小さな反発速度に押さえられており、反発のエネルギーを危険性の小さな範囲内に押さえることができたと評価してよいと思われる。このように反発停止システムが著しく反発エネルギーを吸収しえた理由は、反発力がモータの負荷として小さくないこと、及び、締め付け力が持続しているため、材が自由に給出されるわけではなく、丸のこが停止することによって材の反発速度が著しく減速されることが理由としてあげられる。現実の反発現象においても、何らかの作用で材が側方から力を受けるために起るわけであるから、材のイナーシャ及び材の摩擦力は大きいものと思われる。したがってこれに急停止するのこ刃と材の間の摩擦力が加わって反発のエネルギー拡大を抑制するものと解す

ることができる。

これらを実機をもってゆく場合はさらに次のことを解決する必要がある。

- (イ) ブレーキモータの粉塵対策
- (ロ) ブレーキモータの耐久性の向上
- (ハ) 材を途中まで切って引き戻すといった作業の場合の機能的改善

(イ)及び(ロ)については容易に解決できると思われる。

(ハ)については、反発検出爪の構造上、材を人為的に手前に引張っても材が爪に引かかり、装置がはたらいて丸のこを急停止させることになる。材を途中まで引き割しするという作業は現実にはごく普通に見られるものであり、反発検出爪の機能上の改良が要求される。

単に動力遮断装置により丸のこ主軸の回転を停止させようとする場合は摩擦による自然減速に比較的長時間を要する。しかし、停止時間が5秒をこえる場合は、ブレーキ装置等を用いてそれ以下になるよう対策を構じなければならないことが基準で定められている。

この5秒間という停止時間は作業者が待機する時間としては短いものではない。時として端材を用いて空転中の丸のこに押付けて積極的に停止をかける場合もある。この空転時間は人間の不安全行為を誘発することもあり、出来る限り短いことが望ましい。したがってブレーキモータの導入は安全上は好ましいといえる。また、この起動・停止が容易かつ敏速に行なえるようにすれば作業性を損うことはないと考えられる。

モータの電源が遮断されている間は反発検出爪は全て上げて材を手前に自由に動かせるようにしておき、電源を入れて主軸を回転させると同時に反発検出爪を下ろすようインタロックすれば、作業性を損うことなく本システムにより安全性を確保できると思われる。

3.2 接触災害の防止に関する研究

3.2.1 研究目的

昇降丸のこ盤においては丸のこに手指を接触することにより切傷を受けたり、指を切断させる、いわゆる接触災害が大変多い。

接触災害を防止するため、接触防止用カバーの使用が義務付けられているが、システム研究の中で詳述するように、これらのカバーが使いにくいなどの理由から十分に活用されているとはいいがたい。

市販されているカバーは、できるだけ汎用性の高いものをねらっているため、かえって標準的な作業でも使いにくいと指摘される場合が少なくない。そこで、現場では対象作業を限定した特殊なカバーが手造りされている例も多い。しかし、それらは、使い易いことが優先され、肝心の安全性の確保の目的を十分はたしているものは少ない。また、あまりに専用化されているため、他の作業に変更する時に取りはずし、そのままカバーが使われない危険な状態に容易に移行してしまうのが実状のようである。そのため、接触災害の多くは接触防止用カバーが適切に使用されなかったために発生するものが首位を占めている。

本研究では、これら接触防止用カバーの問題点に鑑み、安全性の確保と使い易さの両面からこれら従来形のカバーの欠点を補う新しい接触防護対策を開発するものである。

3.2.2 接触防止用カバーの送給抵抗

昇降丸のこ盤の接触防止用カバーについては、システムの研究で述べるように、いくつかの使用されにくい理由が考えられる。それらのうち、「材の送給抵抗が大きくなる」としてその使用を拒否する例が少なくない。そこで、接触防止用カバーによる材の送給抵抗を測定した。

(i) 測定方法

Fig. 3-9に示すように、市販の送給装置により一定

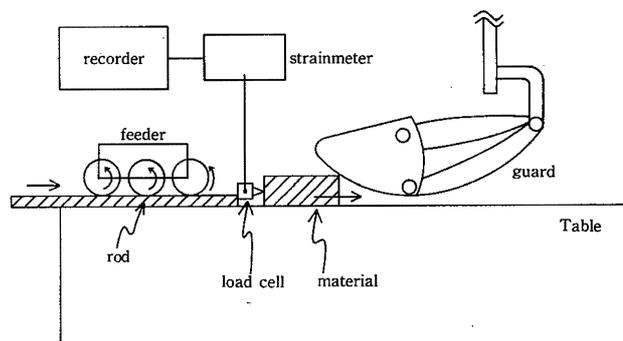


Fig. 3-9 Experimental System for measuring the resisting force of the guard
接触防止装置の送給抵抗力測定システム

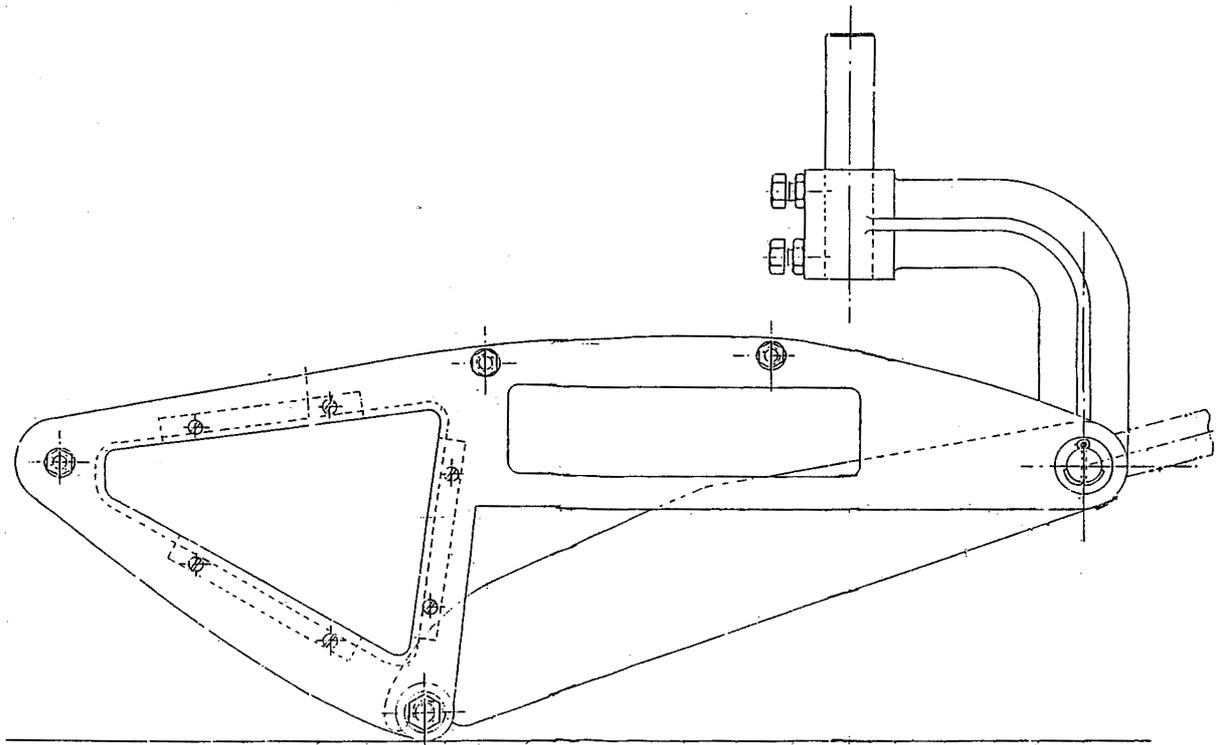


Fig. 3-10 the hood guard for multi-use.

一般作業用接触防止用カバー

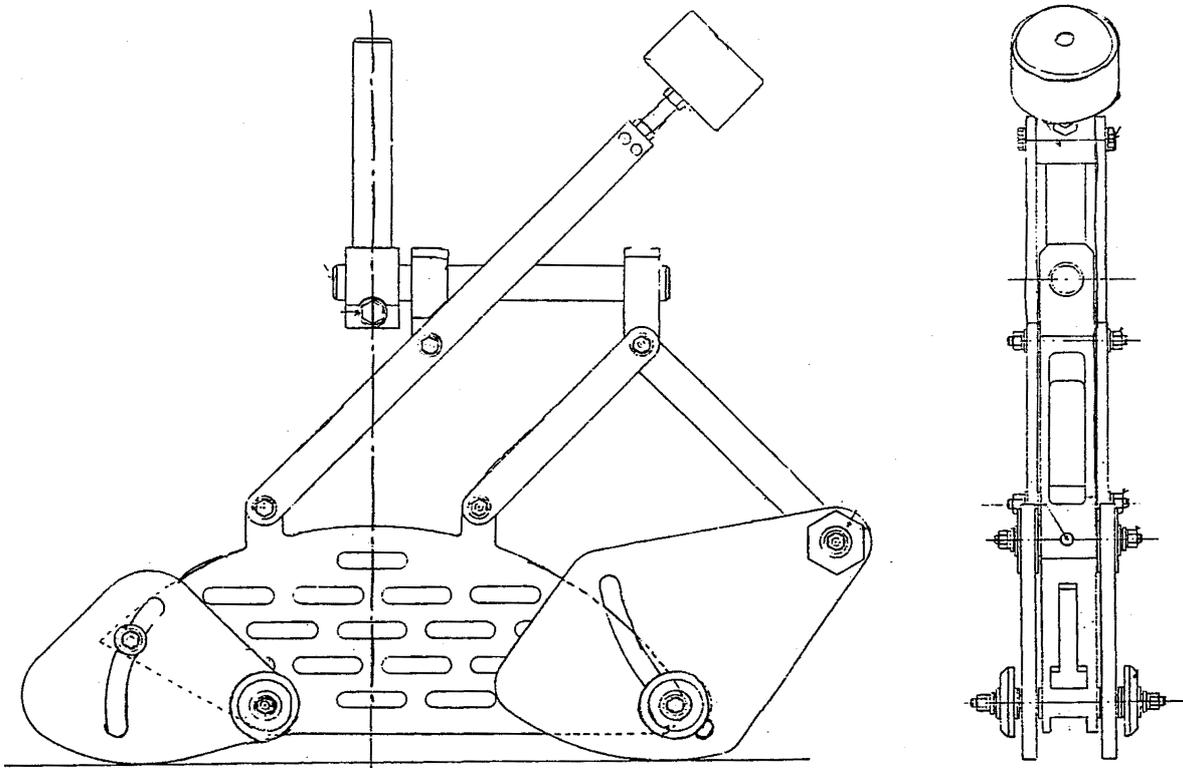


Fig. 3-11 The hood guard for inclined saw.

傾斜切り作業用接触防止用カバー

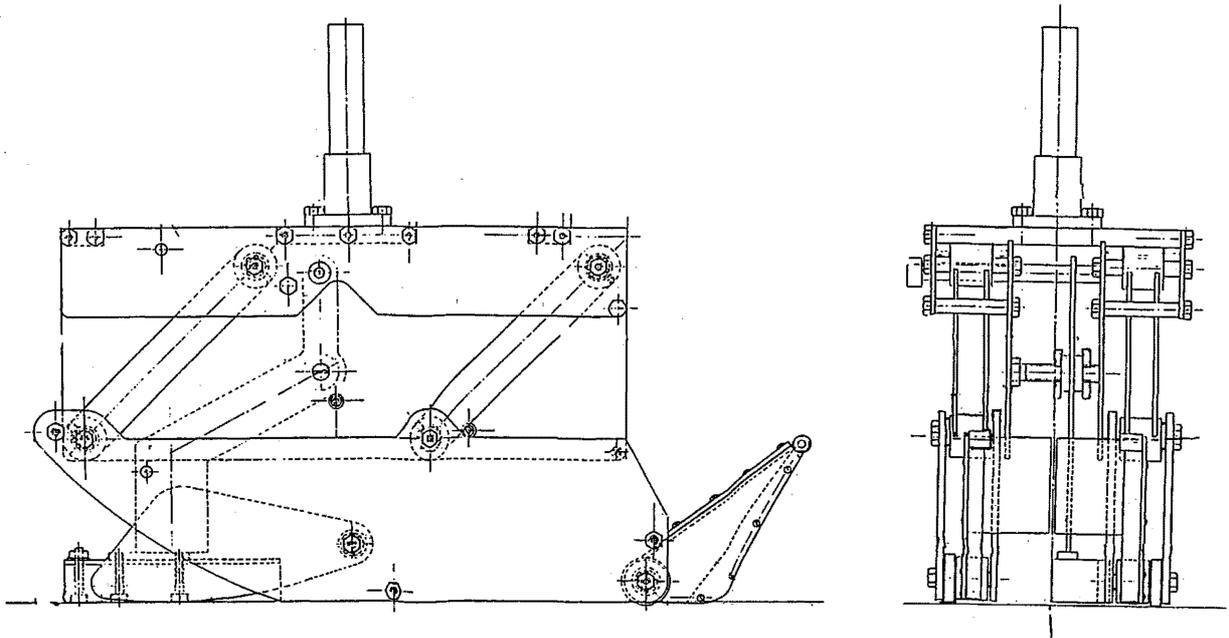


Fig. 3-12 The hoodguards for ear-cutting
耳切り作業用接触防止用カバー

速度で押し棒を移動させ、その押し棒により材料を送給する。送給抵抗は材料と押し棒との間に取り付けたロードセルにより測定し記録した。

(ii) 測定条件

実験に使用した接触防止用カバーは(I)一般作業用 (Fig. 3-10), (II)傾斜切り作業用 (Fig. 3-11), (III)耳切り作業用 (Fig. 3-12) として試作したものである。

送給用供試材た、スプルスを用い、テーブルとの摩擦面はカンナ盤仕上げとした。また供試材形状は長さ×幅×厚さ(単位mm)がそれぞれ(i)301×89×35, (ii)250×89×69, (iii)248×150×100の3種類である。

(iii)測定結果

各装置の構造面からくる送給抵抗力の時間変化の特徴とその抵抗力を Table 3-1にまとめる。

(a) 接触防止用カバー(I)

一般作業として試作したカバーの送給抵抗のパターンは Fig. 3-13のようなものである。ただしそこでは次のような荷重の変化が観察される。

A : 材とテーブルのすべり摩擦抵抗 (Table 3-1 は平均値)

B : 材がカバー前面に達し、これに当たった瞬間の衝撃力 (Table 1 は最大値の平均値) を主とす

るもの。

C : 材がカバーを押し上げるための力によって増加する摩擦抵抗 (Table 3-1 は時間平均値)

D : 材がカバー本体のローラ突出部に当たった時の衝撃力 (Table 3-1 は最大値の平均値) を主とするもの。

E : 材とカバーとの重量による摩擦抵抗力 (Table 3-1は時間平均値)

(b) 接触防止用カバー (II)

傾斜切り作業用として試作したカバーは Fig. 3-14のような送給抵抗の時間的変化が観察された。ただし、そこでは次のような荷重の変化がみられる。

A' : プラスチック製前方カバーに当たった時の衝撃力

A : カバー本体を押し上げ始める時の衝撃力

B : カバー本体を押し上げる際の抵抗

C : 材とカバーとの重量による摩擦抵抗

D : 後部のカバー突出部に材が当たった時の衝撃力

(c) 接触防止用カバー (III)

耳切り作業用として試作したカバーは Fig. 3-15のような送給抵抗の変化がみられ、また、次のような荷重の変化が観察された。

Table 3-1 Result of the resisting force of the guards tested.

接触予防装置の送給抵抗力測定結果

(a)接触防止用カバー(Ⅰ)

抵抗力 kg	送給速度 m/分						材 料			手 送 り		
	5			8			12					
	(イ)	(ロ)	(ハ)	(イ)	(ロ)	(ハ)	(イ)	(ロ)	(ハ)	(イ)	(ロ)	(ハ)
A	0.17	0.26	0.69	0.18	0.27	0.82	0.18			0.18	0.27	
B	1.04	1.26	1.84	1.80	1.50	1.90	2.10	2.30		1.50	1.40	1.90
C	0.87	0.97	1.40	0.92	0.98	1.42	0.74	1.30		0.87	1.00	1.50
D	1.70	1.80	2.50	2.00	1.70	2.20	2.30	3.40		2.00	2.20	2.30
E	0.42	0.55	0.96	0.56	0.46	0.82	0.88	1.20		0.40	0.40	0.83

(b)接触防止用カバー(Ⅱ)

抵抗力 kg	材 料	
	(イ)	(ロ)
A	2.30	4.50
B	1.00	1.60
C	0.90	0.80
D	1.40	2.30

送給速度 5 m/分

(c)接触防止用カバー(Ⅲ)

抵抗力 kg	材 料		
	(イ)	(ロ)	(ハ)
A	2.00	2.00	2.40
B	1.80	2.60	4.00
C	1.00	1.10	1.40

送給速度 5 m/分

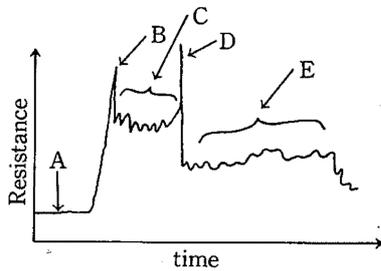


Fig. 3-13 The resisting force in the multi-use hood
抵抗力(一般作業用)

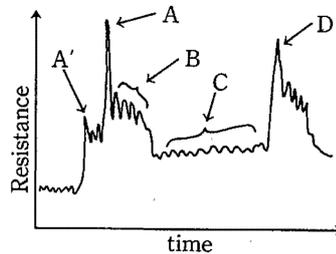


Fig. 3-14 The resisting force in the hood for inclined saw
抵抗力(傾斜切り作業用)

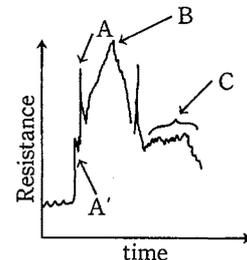


Fig. 3-15 The resisting force in the hood for ear-cutting
抵抗力(耳切り作業用)

- A' : 前カバーに当たった時の衝撃力
- A : カバー本体を押し上げ始める時の衝撃力
- B : カバーを押し上げる際の抵抗
- C : 材とカバーとの重量による摩擦抵抗

測定結果から、カバーがある場合は、ないものと比較して数倍、特にカバーに当たった瞬間では十倍程度の送給力を必要とすることがわかる。また、実際の作業ではこの刃で材をひくための切削抵抗が加算される。

材の切削抵抗は1.0~1.5kgfとされているため、特に傾斜切り作業用及び耳切り作業用で、厚い材を切る場合は5kgを超える送給力が必要であり、人間工学的

研究での考察を待つまでもなく、使いにくいと評価されるのは当然と言ってよいであろう。したがって次項に述べる接触防止用カバーの能動化が重要になってくる。

3.2.3 汎用接触防止用カバーの能動化

カバーの能動化のため Fig. 3-12に示す耳切り用接触防止用カバーを対象とした。これは定規を丸のこに接近させて行なう耳取り作業においても、使用可能となるよう、カバーの左右の動きが独立にできるような

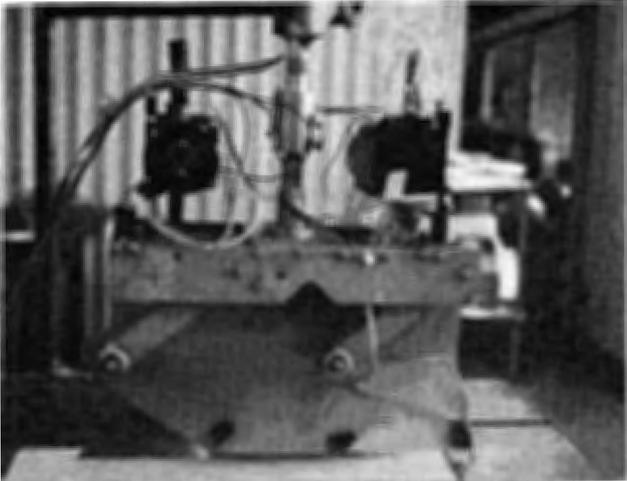


Fig. 3-16 An active anti-contact equipment.

能動式接触予防装置

構造としている。この場合、例えば右側の可動カバーをテーブルの上に載せた状態にさせても、左側の可動カバーだけで100mmまでの厚板の材に対して接触防止の効果を示すことができる。

ただし、このカバーを用いて実際の作業を行わせた結果、主として次の問題が指摘された。

- (i) 厚い材の挿入のために特に大きな力を要し、そのため疲労しやすい。
- (ii) 他のほとんどの接触防止用カバー同様に、材の表面にわずかに傷を残すが、これは化粧板の場合に問題となる。

このカバーは材の前端部によって押し上げるための機構として平行リンクを採用しているため、特に板厚が大きくなると押し上げるのに過大な力を要する。また挿入後の材の切断時においては、カバーの重量がそのまま材表面にかかり、筋状の傷を生ずる場合もある。

これらの欠点を補うため Fig. 3-16 のような能動型の接触防止用カバーを試作した。これは、上記2つの欠点を補うべく、接触防止用カバーを改良したものである。

Fig. 3-17 は能動型の接触防止用カバーのシステム回路図を示している。

カバーの挿入側にリミットスイッチが取り付けられているが、材の前端部でこれを押し続けるとカバーはこれが OFF になるまで上昇する。これによってカバーは、材が自由に挿入できるだけ開口する。そのまま材を供給すると、材の先端は LS 2 さらに LS 3 を ON にし、そして材の後端によって LS 2 を OFF にした後、LS 3 を OFF にするが、この信号を受けてカバ

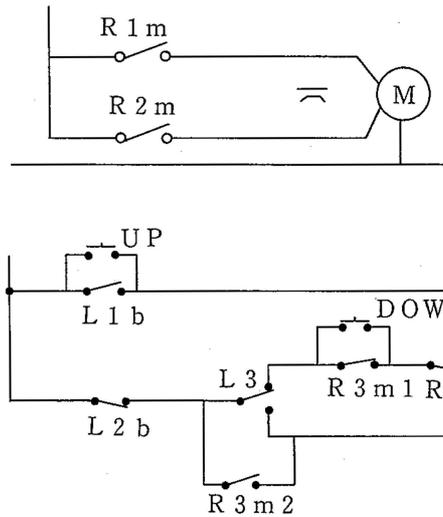


Fig. 3-17 The circuit for active anti-contact equipment

能動式接触予防装置回路図

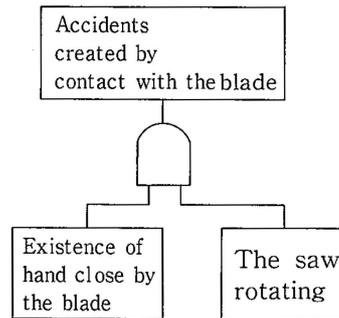


Fig. 3-18 FTA of the accidents due to contact with the blade.

のこ歯との接触災害の FTA

ーが下降して元の位置に戻る。

カバーの上下の動きは、20W のインダクションモータにリニアヘッドを組み合わせたものを用いている。これは、ストローク最大100mm、速度50mm/s であり、さらに電子制御装置を用いているため、制動距離は4mm 以下である。

本装置は、材の挿入信号によりカバーを自動的に上昇させるため、カバーによる送給抵抗はほぼゼロであり、また、材表面にはリミットスイッチのアーム部が軽く触れるだけであるため、傷を生ずる心配はほとんどないといえる。

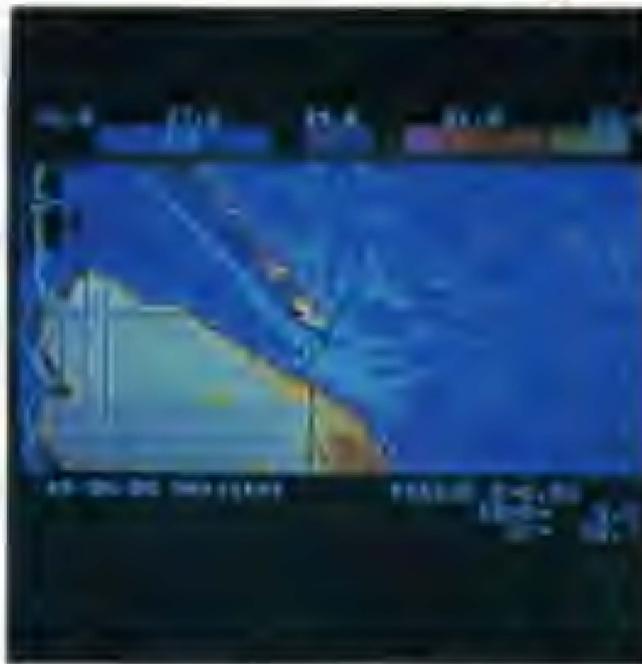


Fig. 3-19 Temperature distribution on the table surface of the powered circular saw
昇降丸のこ盤テーブルの温度分布

ここで用いたカバーの若干の問題点をあげれば、LS1によってカバーが上昇し、同LS1のOFF信号によってカバーが停止するが、この停止位置が試行によって多少ずれることがありうることである。もし、カバーが上がり過ぎた状態で停止した場合は、材がLS2、LS3をオンオフできない状態となるためカバーが上がりばなしになることになる。そこで、材料がカバー下部に存在する場合は必ずONになるようリセットスイッチ(LS0)を用意し、次のようなシーケンスをとればより信頼性の高いものとなろう。

①材の挿入(LS1オン) ②カバー上昇(モータ正転オン) ③材の送給継続(LS1オフ) ④カバー下降(モータ逆転オン) ⑤材送給継続(LS0オン) ⑥モータ回転停止 ⑦材送給終了(LS0オフ) ⑧カバー下降(モータ逆転オン) ⑨カバー下降停止(LS0オン)

このシーケンスでは、材の厚さが任意に変化する場合でも、作業性を損うことなく、それぞれの厚さに応じてカバー開口部を制御することができる。

3.2.4 手指の近接センサ

従来考えられてきた接触予防装置は、手がのこ刀に

近づくことをカバーで物理的に妨げる方式に頼られていた。のこ刀との接触災害のFTAを考えてみると、この方式はFig. 3-18の左側における対策である。

システムの検討で論ぜられるように、昇降丸のこ盤作業の中には、接触防止用カバーが適用できないと思われるものもある。また、適用可能であっても例えば、特に高い精度を要する切削作業では、丸のこ刀を見る必要があるという理由から、接触防止用カバーをはずして作業をすすめるケースも見られる。

このような状況で、実質的な安全性の効果を求めるには、これまでのカバーの欠点を補うべく検討を行なうとともに、これらのカバーを用いなくとも同様の安全性が確保される手段を検討すべきである。

ここでは、近年発達著しいセンサを導入し、人間の手指がのこ刀に異常に近接したことを検出して、主軸を急停止させる方式について、次の2つを選び、その安全手段としての有効性について検討した。

(1) 焦電型赤外線センサーの適用

人間の手指を他の物体から分離してそれを認識する方法はいくつかあるが、その一つとしての人間の手指から発生する微弱な赤外線を検知するものが考えられる。これはすでに盗難防止用侵入警報器などに利用されている方式であるが、昇降丸のこ盤作業では、材のこ刀の切削部は人体に比べて温度が高く、多量の赤外線が発生していると予想される。これらの影響をみるため、切削時におけるテーブル上の温度分布をH_cC.T.を用いた走査型の温度センサにより測定した。測定結果をFig. 3-19に示す。

これによると、材の温度25.5℃に対して、材の切削部は36.5℃に達する。しかしその高温部は小さな領域に限られ、5mm四方及び手前ではすでに29℃に落ちる。また、人間の手指においては、その表面温度は33.5℃で、0.5度の誤差範囲内ではほぼ一定の温度分布を示している。また、飛散する木じんは27℃であった。

測定装置は0.1℃の分解能を持ち、しかも、1mm単位でその温度分布を知ることができる。したがってそのまま用いることによって、のこ刀周辺の比較的広範囲を手指の検知領域とすることが可能であるが、このままでは大変高価であり、木工作業ではその使用は非常に限定されてしまう。そこで、これらの測定結果を踏まえて、より安価な焦電センサを用いる方式を検討した。

焦電効果は、結晶の一部を加熱したとき表面に電荷

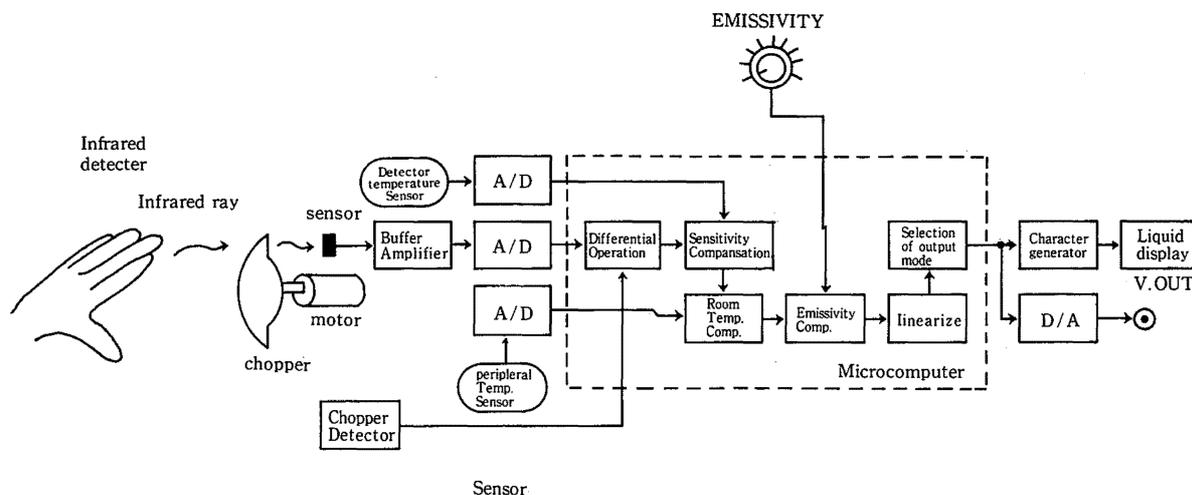


Fig. 3-20 Principle of pyro-electric thermometer
 焦電型手指センサーの原理

が現われる現象で、自発分極をもった強誘電体の一部にみられる。この自発分極の大きさは温度の関数であり、常時は空気中のイオンや電荷を捕獲して電気的に中性である。しかし素子が赤外線熱として吸収して ΔT だけ変化すると、自発分極の大きさも ΔP_s だけ変化して素子表面に電荷のアンバランスが生じ、放電電流が発生する。

用いたサーモプローブTM200（日本アビオニクス製）は焦電センサを用いた汎用の広域温度計である。Fig. 3-20に示すように、対象物からの赤外線はチョッパーにかけられた後、焦電センサに入射し熱信号を出力する。これは増巾され、A/D変換された後、マイクロコンピュータに読み取られる。マイクロコンピュータでは、検出器自体の温度や周囲温度も同時に読み取り、補正処理を行なって温度変換し、アナログ出力を行なう。

Fig. 3-21は検出器と手指を40mm離れた状態で手指検出特性を測定したものである。横軸のゼロは測定視野を示し、これより手前15mmより徐々に近づけていった時のアナログ出力をプロットしている。ただし、手指が存在しない場合に出力がゼロになるようオフセット調整し、また約100倍の増巾を行なっている。

アナログ出力は雰囲気温度と手指表面温度の差に比例するため冬期と夏期では大きく相異なる。特に問題

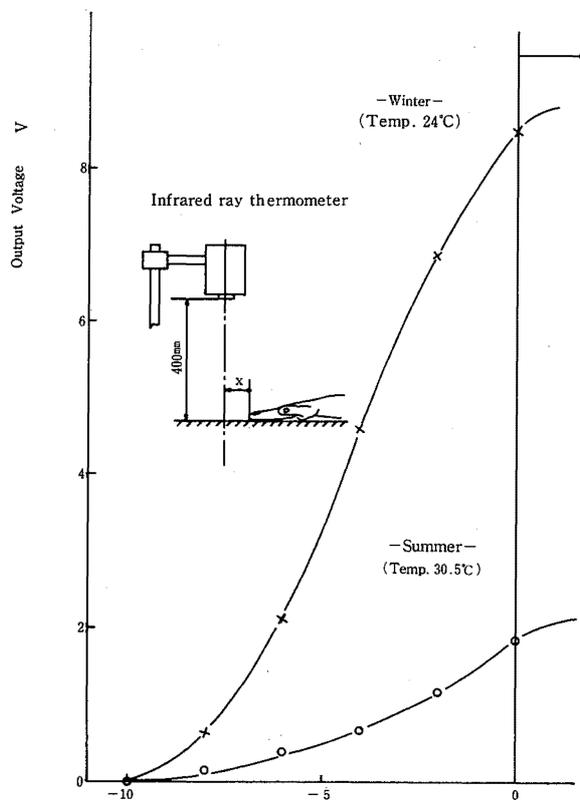


Fig. 3-21 Accuracy of infrared ray generator's position
 赤外線発生点の位置精度

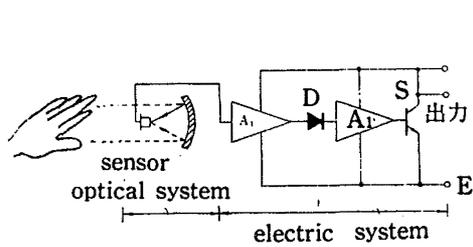


Fig. 3-22 the sensor of moving hand
人手の動きを利用した検出器

となるのは夏期であるが、実験を実施した日では、手指と雰囲気間に約0.5℃の温度差があり、これは分解能の約10倍であるため、十分に手指センサとして作動した。しかし、気温が33℃に近くなることも考えられるが、その場合は使用不可能となる。したがってこの方法にはある程度限界があり、後述する静電型手指センサと組み合わせた安全装置が期待される。

この方法は、気温が30℃以下の場合に有効に作動することは確かめられたが、このままでは正確な温度計として作動するためまだまだ安価なものとは言い難い。

焦電センサは定常状態では焦電電流が流れないので、センサの使用法としては、Fig. 3-22に示すように手指が、測定視野内に入った時の1回だけの検知信号を増幅してスイッチング用トリガ信号とする使い方も考えられる。この方法は信頼性に問題があるが、非常に安価となるためセンサの多重化も可能となり、信頼性の向上も望める。この方式も、後述する静電容量型の手指センサと組合わしてシステム化することにより、外気温等に左右されることなく十分な信頼性を確保するよう実用の段階ではさらに検討が必要である。

(2) 静電容量型手指センサ

この方式は、金属棒やワイヤなどをセンサに使用し、これを防護したい領域もしくはそれに隣接する位置に置く。センサを包み込む検知ゾーンは装置本体内で発生した電磁波により創り出される電磁界である。これに人間の一部分もしくは金属物が侵入することによって、電磁界が変化するため、その変化分を増巾することによって機械を停止させたり、あるいは警報を出すことが可能である。

有効性の検討のためにプロキサガード（小森安全研究所製）を用いた。Fig. 3-23は動作を示すブロックダイヤグラムである。センサを設置した状態で、一定の発振周波数に同調するよう外付けの可変コンデンサを

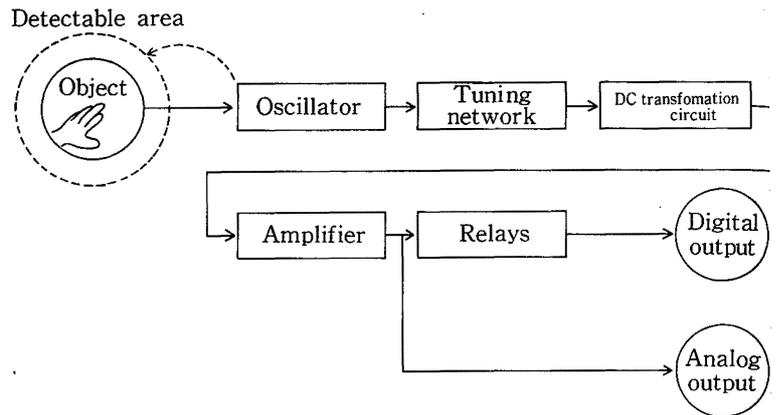


Fig. 3-23 The principle of finger sensor of electrostatic type
静電容量型手指センサーの原理

調整しておき検知体である人間や金属物の接近によって発振周波数に変化し、同調からはずれることを利用して、リレー回路を働かせるようになっている。

(a) 静電容量型接触予防装置としての性能

静電容量型接触予防装置を昇降丸のこ盤に適用する場合、機械のテーブル及びのこ刃が電磁波を引きつけてしまうので、単にセンサをのこ刃の回りにセットするだけでは相当に感度低下をきたすことがまず第1の問題となった。そこで多種のセンサ形状について試みた結果 Fig. 3-24に示す方法が最も高い感度が得られることがわかった。次の問題は、材の挿入でなく、人間の手指の接近のみが検知されうるかというものであった。そこで上記センサを用いて各種実験を行なった。

Table 3-2はセンサの間（A, Bの上方）に物体を置き、検出器の出力電圧の変化を調べたもので、ここでは手を基準としている。これによればセンサに接近する程、また木材が大きい程検知器の出力は大きいこ

Table 3-2 The ratio of output to the reference
検出器の出力変化の比

	位置A	位置B	接 触
手	0.41	①	1.85
スパナ(金属)	0.39	0.85	
濡れた板	0.15	0.22	
板 1 枚	0.04	0.06	0.52
2	0.9	0.14	0.82
3	0.15	0.22	
4	0.21	0.32	
5	0.34	0.47	

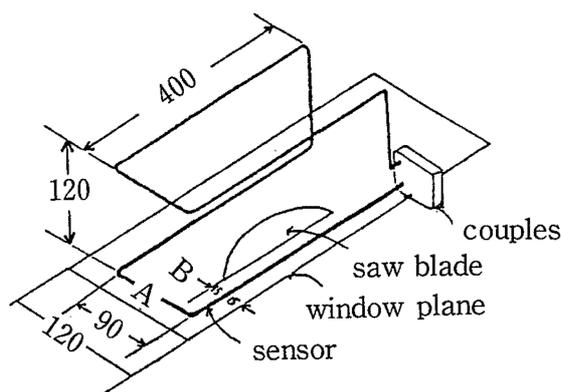


Fig. 3-24 Finger access sensor

手指の近接センサ

とを示しており、人間の持つ静電容量が大きいので、適当なしきい値を選べば、木材と人間の手指との識別が可能であることがわかる。ただし、測定では材として1枚当り、巾70mm、厚さ15mmのものを用いている。

(b) 実用化への検討

実用化を図るうえでの問題点を以下に述べる。

まず第1に、人間の手指を検知する領域をどう設定すべきかという問題がある。このこの検知ゾーンはのこ刃手前に長いほど安全上好ましいが、作業性を損う怖れがある。

この検知限界に対する1つの考え方として、プレス機の安全装置にある安全距離という概念を適用することを考える。これは、プレス機械の停止に要する時間に、手が動く距離だけ検知ゾーンをとろうとするものであるが、プレス機械における手の速度を1.6mとしているが、その数値そのものは、丸のこ盤作業での作業の本

質的相違などからそのまま適用できないであろう。したがって丸のこ盤作業における人間の動作速度については別途測定を要する。

目下のところ、労働省ではのこ歯から15cm以内に手指を近づけないよう指導しているので、それにならって検知限界を設けることが考えられる。しかしのこ刃の上下によってその位置が変わるため作業者にとってその位置が明確でない。そこで検知限界を口板の上にとることが望ましい。つまり、口板上に手指が入った場合は安全装置が作動するため、口板上での材料の送給は押棒を用いて行なうようにする。今回でのセンサの形状や位置は、それを念頭に置いて定めたが、Fig. 3-24に示すセンサは基本原理についての検討を行なったもので、実用に供するためにはセンサの構造、強度について検討を要する。しかしこれらは本質的な問題とはならないと思われる。

検知器を有効に働かせるためには、感度調整やバランス調整が必要である。しかし、一旦調整がなされて検出可能な状態となっても、定規の位置を変えることによってもアンバランスを生じて丸のこ主軸を急停止させてしまう。主軸の再起動には検知器の再調整が必要となり、調整の自動化が望まれる。この方式としては、押ボタンを押すことによって、同調周波数を発振させ、次にこのボタンを押すまでそれを保持する方式が考えられる。このように、この方式は使い易さという点から改良が、むしろその実用化の決定的な要素となるであろうが、それほど困難なく達成できると思われる。