

5. 危険点近接作業の災害防止戦略に関する基礎的考察 —危険点近接作業の災害防止条件の解明と木材加工用機械への適用— *

清水尚憲 **, 梅崎重夫 **

5. The Basic Consideration on Accident Prevention Strategy of the Hazardous Point Nearby Operation—Clarification of Accident Prevention Conditions and the Application to Wood Cutting Machines—*

by Shoken SHIMIZU** and Shigeo UMEZAKI**

Abstract; It is a common knowledge for safety engineers to perform machine safe measures based on the risk reduction process described in ISO12100. Its process consists of the "Inherently safe design measure", "safeguarding" and other supplemental countermeasures. However, there are many "hazardous point nearby operations", such as the operation of process confirmation, adjustment, preparing, trouble-shooting, maintenance, inspection, repairing, cleaning of the machine etc.. It is very difficult to apply above-mentioned safe measures for these operations because operators are close to machine moving parts without stopping it.

The midterm report of the "Research on Fundamental Safety Technologies for Man-machine Cooperative Working Systems" published in 2005 proposed new risk reduction strategy against the "hazardous point nearby operation". New concepts of the risk management division, the accident prevention division and the supporting protective device are suggested in this midterm report.

This paper proposes accident prevention conditions for "hazardous point nearby operations" and safety system for wood cutting machines based on above research results. Results obtained from this research are summarized as follows.

1) Clarification of accident prevention conditions

The accident prevention condition is classified four types (0:restriction of energy, 1:separation and fixation of human and machine space, 2:machine stop in hazardous conditions, 3:limitation of speed of machine moving parts (3a) or human body (3b)). Types of 3a and 3b mean accident prevention conditions for "hazardous point nearby operations".

2) Development of safety system for wood cutting machines

The new safety system of wood cutting machine has a circular saw, two pieces of movable protective covers, locking device of these covers, IC tags for fixing to human fingers, loop-coil to detect IC tags and control system. The circular saw of wood cutting machine is covered with rotated two pieces of (upper and lower) movable protective covers. IC tags are fixed to operator's fingers. Safe zones are formed to left and right of the circular saw. Safe zones are monitored by loop-coils to detect the presence of IC tags. The human absence is confirmed by detecting IC tags. These covers can be permitted to move only when the existence of operator's fingers in safe zones is confirmed. On the other hands, these covers are locked to move when the existence of operator's fingers in safe zones is not confirmed.

Keywords; Safety, Safety Control, Hazardous point nearby operation, Wood cutting machine, IC tag

* 本論文は、既にNIIS-SRR-No.33 (2005) で発表した“危険点近接作業の災害防止戦略に関する基礎的考察”の補完である。

** 機械システム安全研究グループ Mechanical System Safety Research Group

1. はじめに

機械作業の中には、作業者が可動部を停止させずに、可動部に近接した状態で行う運転確認、調整、加工、トラブル処理、保守・点検、修理、清掃、除去などの作業がある。本研究では、これらを危険点近接作業^{1) 2)}と呼んでいる。

この作業に関連した労働災害は、平成17年に報告した中間報告書³⁾での分析結果によれば、産業機械による死亡労働災害(事故の型が「挟まれ・巻き込まれ」と「激突され」に限る)の44%を占めている。したがって、これらの作業に対する適切なリスク低減戦略を確立できれば、労働災害の大幅な減少が期待できる。このため、本研究では、危険点近接作業を対象としたリスク低減戦略の検討を進めてきた¹⁾。

しかし、平成17年に公表した中間報告書²⁾ではリスク低減戦略の全体像を解明できたものの、危険点近接作業固有の災害防止条件を解明するには至らなかった。このため、平成18年以降の研究では、これまでの検討では不十分であった危険点近接作業固有の災害防止条件の解明を進めた。また、この知見を利用して、危険点近接作業の典型例である丸のこ盤で行なう作業を対象とした保護装置の開発を進めた。

本論文では、以上の研究の概要を述べる。

2. 危険点近接作業を対象とした保護方策

2.1 災害防止の基本式

一般に、機械災害は人体と機械の可動部が誤って接触し、かつ、このときに機械の可動部から人体に対して所定の値を越えたエネルギーが誤って伝達したときに発生する。したがって、機械災害を防止するには、作業者の作業領域と機械の可動部の動作領域が重ならないようにするか(以下「空間条件」と呼ぶ)、または、人体と機械の可動部が接触したときに機械の可動部から人体に対して伝達されるエネルギーを所定の値以下とする(以下「エネルギー条件」と呼ぶ)ことが必要十分条件となる。


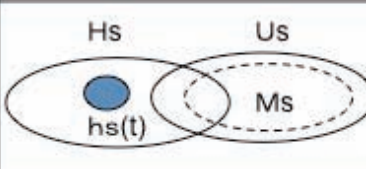
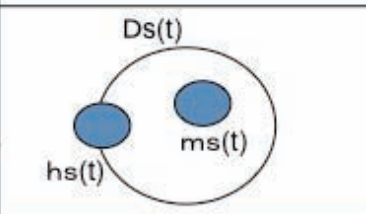
この関係は、作業者の作業領域をHs (Table1参照)、機械の可動部の動作領域をMs (Table1参照)で表し、人体と機械の可動部の接触があった場合に機械の可動部から人体に対して伝達されるエネルギーの最大値をE_w、人体に傷害を及ぼさないことが確認できているエネルギーの最大値をε_Hとすると、次式で表すことができる¹⁾。

$$Hs \cap Ms = \phi \text{ or } E_w \leq \epsilon_H \quad (1)$$

(1) 式を災害防止の基本式と呼ぶことは既に中間報告書で述べた。ただし、「∩」は領域の積、φは空領域を意味する記号である。

Table 1 The classification of accident prevention division and accident prevention conditions.

保護方策区分の種類と災害防止条件

保護方策区分	類型	災害防止条件	関係図
0	エネルギーの制限	$E_w \leq \epsilon_H$	該当なし
1	領域の分離	$Hs \cap Ms = \phi$	
2a	早期回避 (接触回避)	・ $hs(t) \cap Us = \phi$ のとき $W(t) = 1$ ・ $hs(t) \cap Us \neq \phi$ のとき $W(t) = 0$	
2b	直前回避 (可動部の停止)		
3a	危険点近接	可動部の移動速度の抑制	
3b		人体の移動速度の抑制	
		$\cdot hs(t) \cap Ds(t) = \phi$ のとき $W(t) = 1$ $\cdot hs(t) \cap Ds(t) \neq \phi$ のとき $W(t) = 0$	$L - \int_{t_0}^{t_0+\Delta B} v_M(t) dt > c$ または $\int_{t_0}^{t_0+\Delta B} v_M(t) dt \ll c$ $\int_{t_0}^{t_0+\Delta B} v_H(t) dt < e$

2.2 人間機械協調システムにおける災害防止条件

実際の機械作業では、機械の段取り、トラブル処理、保守・点検、修理、清掃などの作業が存在するために、 $Hs \cap Ms = \phi$ を満足できない可能性がある。そこで、領域 Hs に代えて、時刻 t において作業者が現に存在している領域を $hs(t)$ で表すと、 $Hs \cap Ms = \phi$ は次のように変更できる。

$$\forall t: hs(t) \cap Ms = \phi \quad (2)$$

ただし、「 $\forall t$ 」はすべての t を意味する記号である。

(2) 式を満足できる方策に早期回避がある。これは、危険事象である人間と機械の接触を早期に予測して回避する方策である。

しかし、実際には、危険事象は常に早期回避できるとは限らず、危険事象を直前で回避しなければならない場合も考えられる。このとき、危険事象の予測と回避の失敗は許されないから、直前回避策では当研究所が提案している安全確認形インタロック⁴⁾などの保護方策によって可動部を確実に停止させなければならない。

この関係は、時刻 t における機械の可動部の運転状態を意味する2値論理変数を $W(t)$ で表し、運転実行を $W(t) = 1$ 、運転停止を $W(t) = 0$ とすると、次式で表すことができる。

$$hs(t) \cap Ms = \phi \text{ のとき } W(t) = 1 \quad (3)$$

$$hs(t) \cap Ms \neq \phi \text{ のとき } W(t) = 0 \quad (4)$$

(4) 式では、機械は瞬時に停止すると仮定している。しかし、実際には、機械の停止にはある程度の時間を必要とする。そこで、人間が Ms に到達する時点では確実

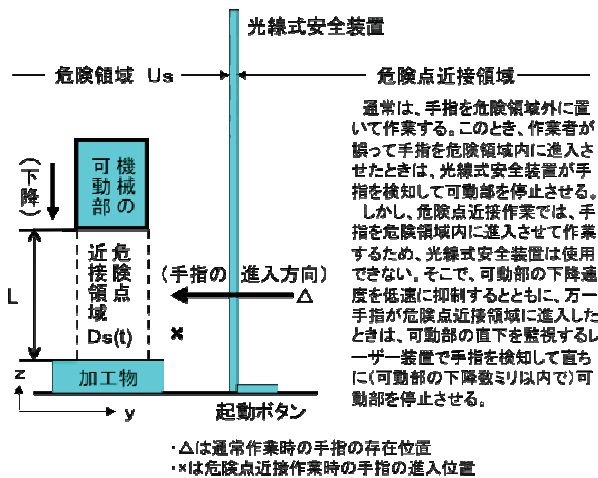


Fig. 1 The difference of hazard zone and hazardous point nearby zone.

危険領域と危険点近接領域の違い

に機械の可動部を停止できるように、機械の可動部に停止命令を与えてから実際に停止するまでの間に人間が移動する可能性のある距離を Ms に付加した領域を Us とする (Table1参照)。

これより、(3) 式と (4) 式は次のように変更できる。

$$hs(t) \cap Us = \phi \text{ のとき } W(t) = 1 \quad (5)$$

$$hs(t) \cap Us \neq \phi \text{ のとき } W(t) = 0 \quad (6)$$

以後、領域 Us を危険領域と呼ぶ。

2.3 危険点近接作業の災害防止条件

実際の機械作業では、作業者が機械の可動部を停止させずに、可動部に近接して行う危険点近接作業がある。この作業の多くは、作業者が領域 Us 内に進入して行う。このとき、 $hs(t) \cap Us \neq \phi$ となるから災害を防止できない可能性がある。そこで、このときの災害防止条件を一般的に示すために、時刻 t において機械の可動部が現に存在している領域を $ms(t)$ で表すと、(3) 式と (4) 式は次のように変更できる。

$$hs(t) \cap ms(t) = \phi \text{ のとき } W(t) = 1 \quad (7)$$

$$hs(t) \cap ms(t) \neq \phi \text{ のとき } W(t) = 0 \quad (8)$$

ここで、(5)、(6) 式と同様に $ms(t)$ に付加して $Ds(t)$ を設けると (Table1参照)、(7) 式と (8) 式は次のように書き改めることができる。

$$hs(t) \cap Ds(t) = \phi \text{ のとき } W(t) = 1 \quad (9)$$

$$hs(t) \cap Ds(t) \neq \phi \text{ のとき } W(t) = 0 \quad (10)$$

以後、領域 $Ds(t)$ を危険点近接領域と呼ぶ。

Fig. 1に、危険点近接領域の意味を示す。この図では、検討を簡単にするために、機械の可動部はプレス機械のスライドのように直線運動 (図の z 方向) を行い、手指は機械の可動部の運動方向に対して直角に (図の y 方向から) 接近するものと仮定する。

図で、災害を防止するには次のいずれかの条件を満足する必要がある (ただし、機械のエネルギー制限は不可能とみなして、領域分離だけを考慮する)。

- 作業者の手指が機械の可動部の直下に到達する前に、機械の可動部が停止する。
- 作業者の手指が機械の可動部の直下に入ってしまった場合でも、人体を圧碎しない隙間 c を残して機械の可動部が停止する。

ここで、時刻 t における機械の可動部の移動速度を $v_M(t)$ 、作業者の手指の移動速度を $v_H(t)$ 、機械が制動を開始する時間を t_0 、機械の停止に要する時間を Δt_B と

すると、災害防止の条件は次式で表現できる。

$$L - \int_{t_0}^{t_0+\Delta tB} v_M(t) dt > c \quad (11)$$

$$\int_{t_0}^{t_0+\Delta tB} v_H(t) dt < e \quad (12)$$

ただし、Lは時刻 t_0 における機械の可動部の下端から加工物上端までの距離 (Fig. 1参照)、cは人体の圧砕危険を回避するためにISO13854⁵⁾ (機械の安全性—人体各部の圧砕の危険を回避する最小の間隔) に規定された最小隙間である。また、eは時刻 t_0 における手指の位置と機械の可動部の動作領域間の直線距離を意味する (Fig. 1参照)。ここでeは安全距離を意味するが、ここではこのeを特別に離隔距離と呼ぶことにする。

実際の機械では、Lがcの近傍まで降下したときに手指が危険点近接領域内に進入することもある。しかし、このような場合でも、災害は確実に防止できなければならない。これは、時刻 t_0 において $L=c+\varepsilon$ ($\varepsilon>0$) の場合でも、(11)式を満足できなければならないことを意味する。ただし、 ε は $(\varepsilon/c)\ll 1$ となるような微小な値とする。このような極限状況で(11)式を満足させるには、cと比較してきわめて短い距離で機械の可動部が停止する必要がある。この関係は、次のように表すことができる。

$$\int_{t_0}^{t_0+\Delta tB} v_M(t) dt \ll c \quad (13)$$

2.4 保護方策の類型化

Table1は、危険点近接作業の存在を考慮して保護方策を類型化した結果である。以後、これを保護方策区分と呼ぶ。以下、各区分を説明する¹⁾²⁾。

1) 保護方策区分0 (エネルギーの制限)

この区分では、機械の可動部が持っているエネルギーを人体に危害を及ぼさない大きさに制限する ($E_w \leq \varepsilon_H$)。

2) 保護方策区分1 (領域の分離)

この区分では、作業者の作業領域と機械の可動部の動作領域を空間的に分離した上で固定する ($H_s \cap M_s = \phi$)。

3) 保護方策区分2 (回避または可動部の停止)

この区分では、人間と機械の接触を早期に予測して回避する早期回避策が基本である (Table1の2a参照)。しかし、実際には、危険事象を直前で回避する直前回避策を適用しなければならない場合もある。

この直前回避策では、人間と機械が協調して作業を行っている状態を安全確認型インタロック⁴⁾で常時確認し、安全 (この場合は人間と機械が接触しないこと) が確認できないときは可動部の運転を開始させないか、ま

たは直ちに可動部を停止させる。このときの停止の形態にはIEC60204-1⁶⁾によれば次の3種類がある (Fig. 2参照)。

(a) 区分2b0 (停止カテゴリ0)

機械の可動部への電力供給を直接遮断することによる停止 (非制御停止) である。

(b) 区分2b1 (停止カテゴリ1)

機械の可動部を電力制御 (回生制動) で停止させた後に、電力供給を遮断する停止である。

(c) 区分2b2 (停止カテゴリ2)

停止後も機械の可動部に電力を供給したままにする制御停止である。別途、停止状態を維持していることを常時監視する装置が必要である。

4) 保護方策区分3 (人や可動部の移動速度の抑制)

この区分は、人間と機械が近接して作業を行なう危険点近接作業を対象とする。具体的には次のものがある。

(a) 区分3a (可動部の移動速度の抑制)

機械の可動部の移動速度を抑制する保護方策によって災害を防止する。具体的には、(13)式を満足させる制御を行なう。

(b) 区分3b (人体の移動速度の抑制)

人体の移動速度を抑制する保護方策によって災害を防止する。具体的には、(12)式を満足させる制御を行なう。

なお、これら以外にも ΔtB を小さくして災害を防止する方法も考えられる。しかし、この方法はブレーキの信頼性にのみ依存するために、確実性がないと考えられる。このため、本報ではこの方法を保護方策の対象から除外した。

3. 危険点近接作業を行なう丸のこ盤の保護装置

危険点近接作業を対象とした安全システムの具体例として、当研究所で開発した丸のこ盤の保護装置を述べる。

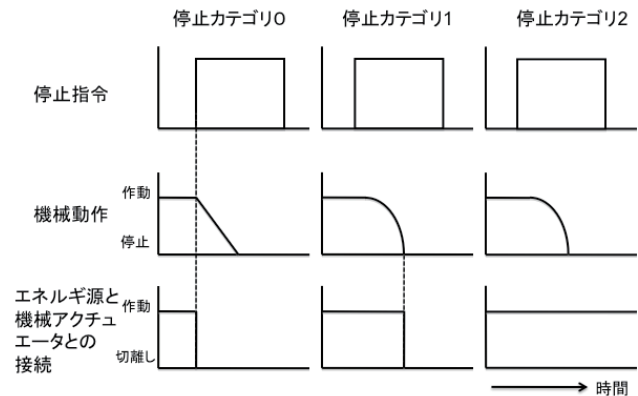


Fig. 2 The type of machine stop. 停止の形態

これは区分3bの保護方策区分が該当する。なお、保護方策区分3aが適用できる典型例には、プレスブレーキで行う危険点近接作業が該当する⁷⁾。

3.1 基本構成

丸のこ盤の作業では、作業者が木材を両手で保持しながら回転する鋸歯（危険点）に手指を近接させた状態で木材加工を行なう。この作業では、木材だけが存在しているときは鋸歯の回転を許可するが、作業者の手指が鋸歯と接触しそうになったときは直ちに鋸歯を停止させる保護装置が必要である。

しかし、現状では、人体と木材を識別できる適当な保護装置は存在しない。また、鋸歯の停止にはある程度の時間を必要とするために、保護装置もこの点を考慮した構成が必要となる。このため、本研究では、当所で新た

に考案した回転式の接触防止ガードと、RFID技術を活用した人体検知装置を併用することによって、以上の問題の抜本的な解決を試みた。

Fig. 3に、開発した装置の基本構成図を示す。Photo1は本装置の外観である。以下に具体的特徴を示す。

- 1) 木材を切断している部分以外の鋸歯を回転式の可動式ガードで覆う。
- 2) 作業者の手指にICタグを装着し、ループコイルで検知する。この結果に基づいて作業者の手指が安全空間内に存在しているか否かを常時確認する。
- 3) 作業者の手指が安全空間内にあると確認できたときは、電磁ブレーキを開（オン）として可動式ガードのロックを解除する。このとき、作業者が木材を送給して行くと、可動式ガードも回転しながら移動して行くので、木材加工が可能となる。

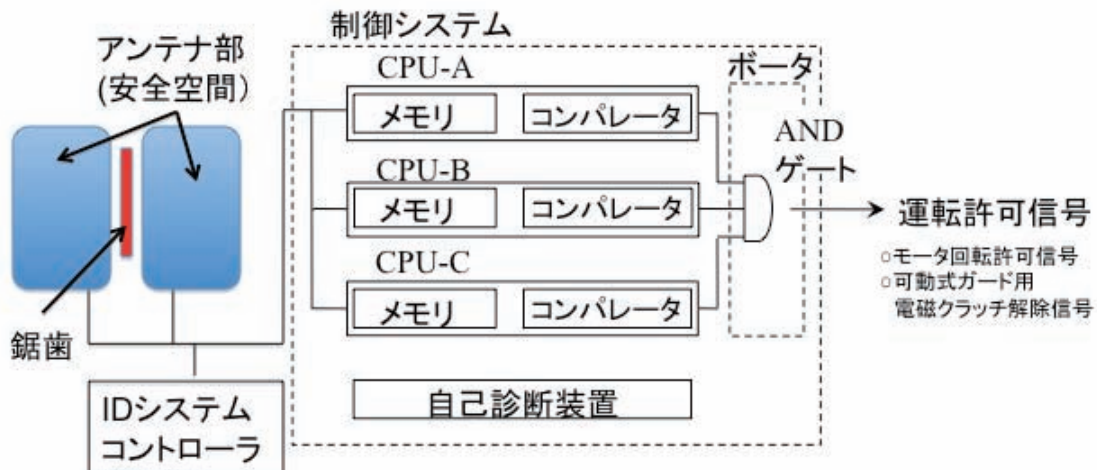


Fig. 3 The configuration of safety system for circular saw developed in this research.
丸のこ盤の安全システムの基本構成



Photo 1 The appearance of safety system for circular saw developed in this research.
丸のこ盤の安全システムの外観

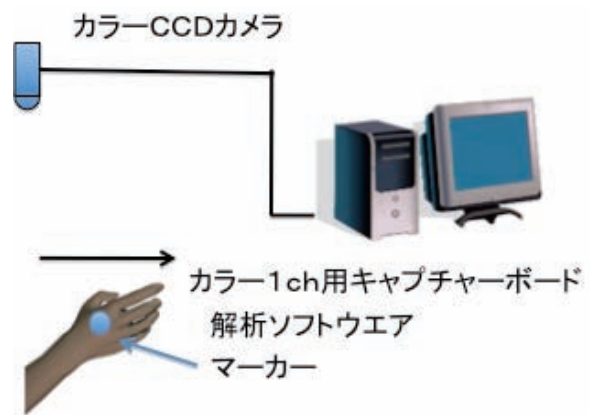


Fig 4 The configuration of experimental equipment for measuring the speed of human hands.
手の速度の計測実験装置の構成

4) 作業者の手指が安全空間内にあることが確認できないときは、直ちに電磁ブレーキを閉(オフ)として可動式ガードをロックする。

5) 4)の後に鋸歯を所要の時間をかけて停止させる。
 以上のような構成とすれば、高速で回転している鋸歯を瞬時に急停止させずに、作業者の安全を確保することが可能となる。従来、木材加工用機械の災害防止対策では、惰性で回転する鋸歯を瞬時に急停止させるために、様々な急停止機構が研究されてきた。しかし、高速の鋸歯を瞬時に急停止させるのは困難であり、本研究で提案したように急停止を行なわないで災害を防止できる方策が必要と考える。

3.2 手指の移動速度に関する災害防止条件の検証

前節で示した方策を適用する場合、手指の移動速度をISO13855⁸⁾にしたがって2.0m/secとして安全距離を計算するのが一般的である。この値は、あくまでも手指が高速で移動しているときの速度に相当する。

これに対し、仮に手指が停止している状態から動き出した直後であれば、手指の移動速度は2.0m/secまで到達しない可能性がある。この状態で区分3bの災害防止条件である(12)式を満足できれば、作業者の安全を確保できる。そこで、次に、この条件を満足できるかを実験によって検証した⁹⁾。

Fig. 4に、本研究で使用した実験装置の構成図を示す。本装置は、①カラーCCDカメラ、②カラー1ch用のキャプチャボード、③解析用ソフトウェア、④作業者の手指に取り付けたマーカーから構成される。Photo2に、本装置の外観を示す。

実験は、被験者が手指を初期位置に一旦停止させた後、手指を可能な限り迅速に移動してもらい、このときの手指の移動過程をCCDカメラで観測するという方法で実施した。この結果を動画計測・解析ソフトウェアで解析し、手指が移動を開始してから2秒後までの移動速度を測定する。

Table2に、手指の移動速度の測定結果を示す。表からも明らかなように、手指が動き始める時刻 t_1 から50msecだけ経過したときの手指の移動速度は0.03m/secであり、これはISO13855に記載された2.0m/secと比較してきわめて小さい。

したがって、可動式ガードが閉じるまでの時間(停止信号発生から、実際にガードが閉じるまでの時間) Δt_B を50msecとすれば、危険点近接距離は約1mmとなり、あきらかに(12)式を満足する。したがって、機械の可動部にきわめて近接した状態で危険点近接作業を行なうことが可能となる。



Photo 2 The appearance of experimental equipment for measuring the speed of human hands. 手の速度の計測実験装置の外観

Table 2 The experimental result of the speed of human hands. 手指の移動速度の測定測定結果

時間(msec)	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
速度(m/sec)	0	0.03	0.08	0.15	0.18	0.38	0.55	0.78	0.97	1.56	1.22

Table 3 The analysis condition for the simulation of electro-magnetic field generated by loop-coils. ループコイルの電磁界シミュレーションの解析条件

解析タイプ	3次元周波数応答磁界解析
解析タイプ	FEM
場の収束計算パラメータ	加速係数:自動設定 最大反復回数:5000 収束トレランス:1.000e-008
非線形反復計算手法	ニュートン・ラブソン反復
非線形反復計算パラメータ	減衰係数:使用 最大反復回数:15 収束トレランス:0.001
ステップ	解析ステップ数1
対称境界条件3D	あり
FEMコイル	抵抗値:25.000000(ohm) 巻数:1.000000(turn) コイル数:1
回路設定電圧	4V

3.3 監視空間のユネイト性の検証

ループコイルで監視を行なう空間（以下「監視空間」と呼ぶ）の検証結果を述べる。本装置では、人体が安全空間内に存在しなくなったときは確実に可動式ガードをロックできるように、監視空間が安全空間内に収まっていなければならない。ここで、安全空間をS、監視空間をM_L（左側）及びM_R（右側）とすると、以上の関係は次式で表すことができる。

$$S \supset M_L \quad \text{かつ} \quad S \supset M_R \quad (13)$$

ただし、記号「A ⊃ B」は空間Bが必ず空間Aに含まれる関係を意味する記号である。以後、これを空間的にユネイトな関係と呼ぶ。ここで、ユネイトとは論理数学の分野で使われる関係であり、AのときBとは限らないがBのときは必ずAとなる論理的關係をA ≥ Bで表す。

実際のループコイルが形成する監視空間は、上記式(13)を満足できず、ユネイト性を満足できない。そこで、ユネイト性を満足できる空間を構築するために、電磁界解析ソフトウェアJMAGを用いてシミュレーション解析を行なった。具体的には、ループコイルの設置位置をFig. 6に示すようにTOP、BOTTOM、FREEの3位置に配置して比較検討を行なった。

Table3に、シミュレーション実行時の解析条件を示す。Fig. 5で部材Aは工作台であり、アクリル板を使用

した。また、部材B、C及びDは電磁シールド用金属板であり、鉄（材質SS400、高さ63mm、幅445mm、奥行き：332mm、厚さ0.5mm）を使用した。

各モデルの意味は次のとおりである。

1) TOPモデル

部材A（アクリル板）の直下にループコイルが配置されているとして解析を行なう。

2) BOTTOMモデル

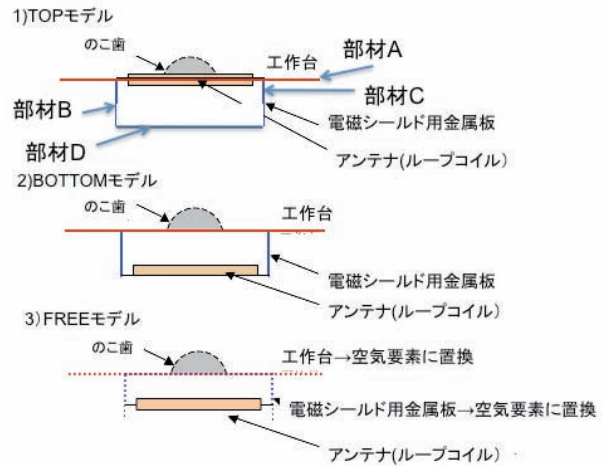


Fig. 5 The type of setting position of loop-coil. ループコイルの設置位置

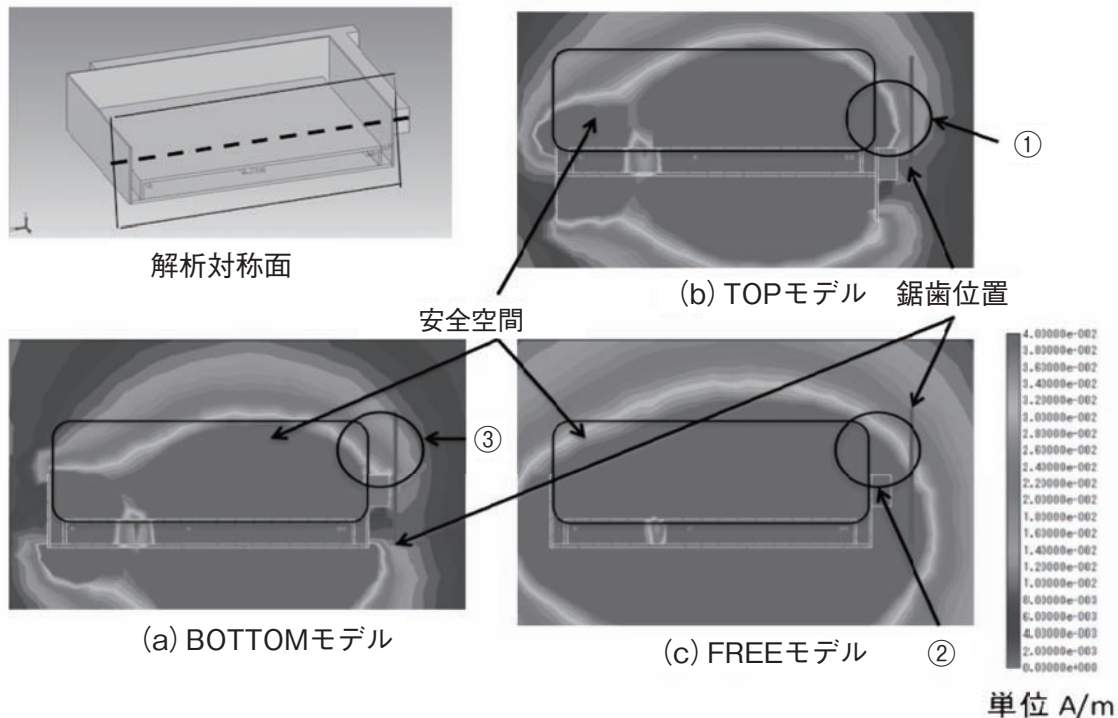


Fig. 6 The result of analysis of electro-magnetic field generated by loop-coil. ループコイルの電磁界解析結果 (口絵の写真4参照)

部材D(電磁シールド用金属板)の上にループコイルが配置されているとして解析を行う。

3) FREEモデル

BOTTOMモデルで電磁シールド用金属板を設置していないと仮定して解析を行なう。

Fig. 6に、それぞれのモデルに対する磁界強度分布を示す。この結果より、TOPモデルやFREEモデルでは磁束の漏れが影響して監視空間が安全空間内に収まらないことが分かる(Fig. 6①及び②の矢印参照)。これに対し、BOTTOMモデルでは、金属遮蔽板の影響によって磁束が確実に遮蔽され、監視空間が安全空間内に収まること確認できた(Fig. 6の③の矢印参照)。

以上より、ループコイルの配置をBOTTOMモデルとすれば監視空間の適切な設計が可能になることが考えられる。

そこで、次に、以上の各モデルに対して、ループコイルを使って実際の監視空間を構築した。Fig. 7は、そのときの実測結果である。BOTTOM(電磁シールド板の高さ $h=32\text{mm}$)モデルでは磁束の漏れの影響を回避できるため、監視空間は安全空間内に収まること確認できた。これに対し、TOP($h=0\text{mm}$)では磁束の漏れが発生するために、監視空間は安全空間内に収まらない。以上より、BOTTOMモデルだけがユネイト性を満足できる。

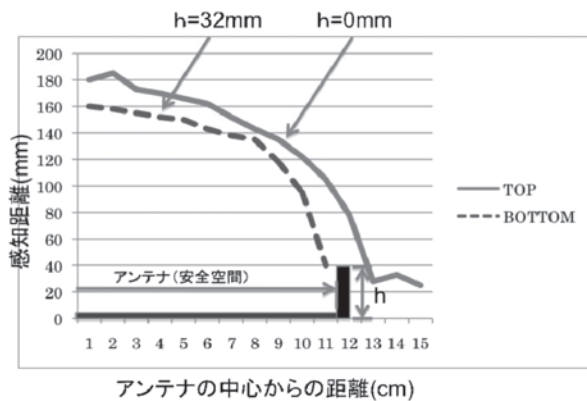


Fig. 7 The experimental result of the electromagnetic field for monitoring zones.
手監視空間の電磁界の計測結果

4. おわりに

本研究では、危険点近接作業を対象に災害防止条件の解明を行うとともに、この知見を利用して、危険点近接作業の典型例である丸のこ盤で行なう作業を対象とした保護装置の開発を進めた。これにより得られた結果は次

のとおりである。

- 1) 危険点近接作業の災害防止条件には、可動部の移動速度の抑制(区分3a)と人体の移動速度の抑制(区分3b)の2種類がある。このときの災害防止条件を(13)式及び(12)式に具体的に示した。
- 2) 区分3bに該当する装置として、丸のこ盤での危険点近接作業を対象とした保護装置を開発した。この装置は、当所で考案した回転式の接触防止ガードと、RFID技術を活用した人体検知装置を備えている。

謝 辞

本研究の実施にあたっては、元中央労働災害防止協会の糸川壯一氏と、当所前重点研究支援協力員であった小林茂信氏の協力を得た。紙上を借りて、両氏に深い謝意を表する。

参考文献

- 1) 梅崎重夫・清水尚憲, 危険点近接作業の災害防止戦略に関する基礎的考察, 日本機械学会論文集, Vol71-No.711, C編(2005), pp.200-207
- 2) 梅崎重夫・清水尚憲, 危険点近接作業を対象とした災害防止戦略に関する基礎的考察, 産業安全研究所特別研究報告NIIS-SRR-No.33, (2005), 69-80
- 3) 梅崎重夫・清水尚憲, 産業機械の労働災害分析, 産業安全研究所特別研究報告NIIS-SRR-No.33, (2005), 53-68
- 4) 杉本旭・糸川壯一・深谷潔・清水尚憲・梅崎重夫・池田博康・芳司俊郎・蓬原弘一, 安全確認型安全の基本構造, 日本機械学会論文集, 54-505, C(1988), 2284-2292
- 5) ISO13854, Safety of machinery - Minimum gaps to avoid crushing of parts of the human body(1996)
- 6) IEC60204-1, Safety of machinery - Electrical equipment of machines - Part 1: General requirements(2005)
- 7) S. Shimizu and S.Umezaki, Development of safety system for press brake, 5th International Conference of Industrial Automated Systems, Tokyo, Japan(2007)
- 8) ISO13855, Safety of machinery - Positioning of protective equipment with respect to the approach speeds of parts of the human body(2002)
- 9) 清水尚憲・梅崎重夫, 危険点近接作業における災害防止条件の解明, 日本機械学会茨城講演会(2008) 181-182

(平成20年12月10日受理)