

# 産業安全研究所年報

ANNUAL REPORT  
OF  
THE NATIONAL INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

1999

平成11年度

労働省産業安全研究所

## 韓国産業安全保健公団産業安全保健研究院と共同研究協定を締結



協定書調印における田島所長(左)と鄭院長 (平成11年11月2日)

## 外部研究評価会議を開催



平成11年度第2回外部研究評価会議風景 (平成12年3月22日)

## 安全技術講演会を開催



安全技術講演会風景（東京会場 平成11年10月18日）

## 科学技術週間に研究施設を一般公開



研究施設一般公開の一場面（平成11年4月14日）

## 大阪産業安全技術館にて墜落災害防止用器具安全帯特別展を開催



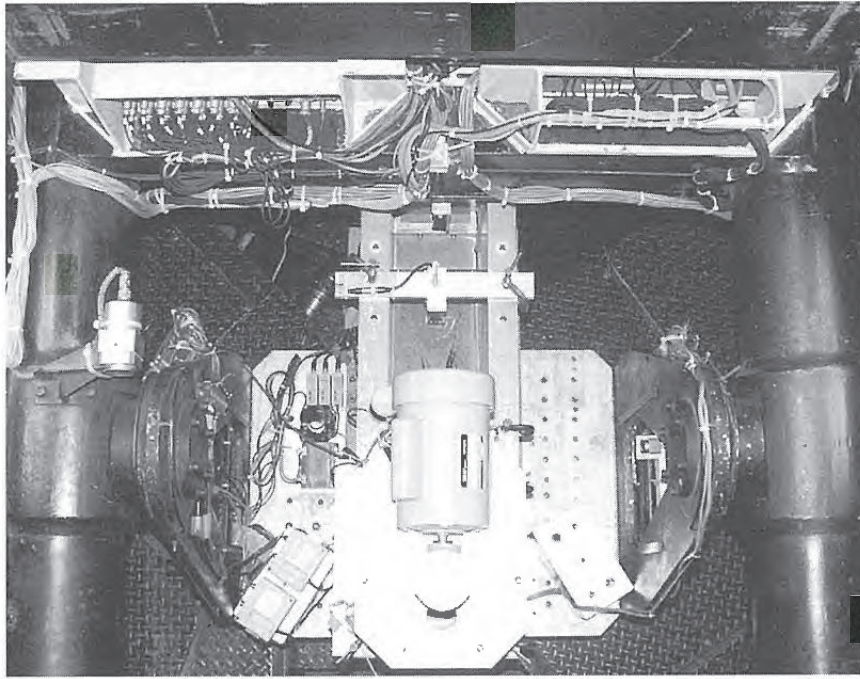
特別展の展示状況（平成11年10月1日～平成12年3月31日）

## 所内研究討論会における招聘研究者の講演

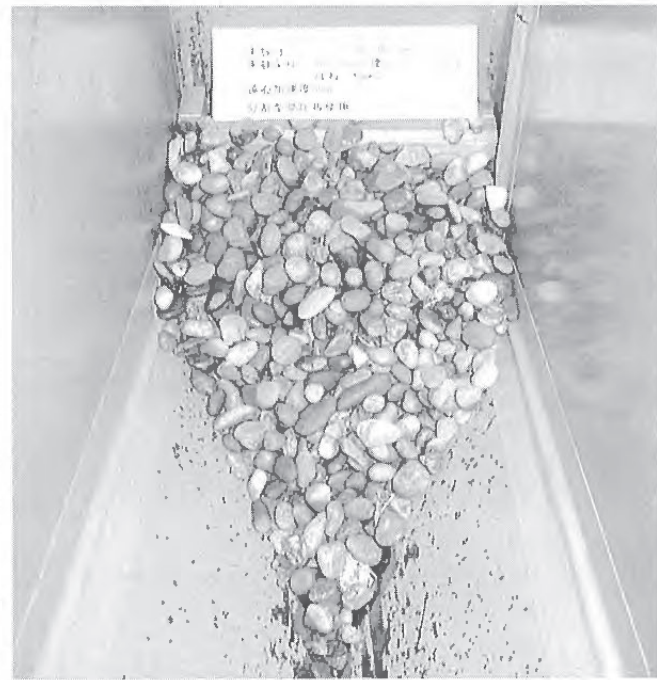


米国ノートルダム大学カリーム教授の講演風景（平成12年3月16日）

## 特別研究の実施状況



遠心力载荷装置にセットした土石流  
流下実験装置（上部撮影）



流下した土石流（水とレキ）が受圧板  
（荷重測定部）に衝突した後の状況

土石流等による土砂崩壊災害防止技術に関する総合的研究の実施状況（労働省特別研究）



化学物質安全特性予測基盤の確立に関する研究－爆発燃焼反応  
挙動の解明－の実施状況（科学技術庁特別研究）

# 目 次

## 第1章 総説

1.1 研究活動等の概要	3
1.2 組織	4
1.3 定員	4
1.4 土地および建物	4
1.5 予算	5
1.6 主要試験研究施設および設備	6
1) 施設	6
2) 設備	6
1.7 図書	8
1.8 広報	8
1.9 その他	8
1) 表彰等	8

## 第2章 研究業務

2.1 平成11年度の研究課題	9
1) 経常研究	9
2) 特別研究	10
2.2 平成11年度の研究成果の概要	11
2.3 研究成果の発表	51
1) 誌上発表	51
2) 口頭発表(国内)	54
3) 国際研究集会口頭発表	59
4) 著書	61
5) 特許	61

## 第3章 関連業務

3.1 外部研究評価会議	62
3.2 研究所主催行事	62
1) 安全技術講演会	62
2) 研究委員会等	62
3) 所内講演会	63
4) 研究施設の公開および見学	63
3.3 行政機関等に対する協力	65
1) 災害調査等における協力	65
2) 委員会活動等における協力	65
3) 研修講師派遣等における協力	66
4) その他	66
3.4 外部機関との協力	67
1) 学協会の委員会活動等への協力	67
2) 技術指導, 研究協力等	67
3) 外部機関の研究員の招へい	69
4) 外部機関への研修	70

5) 外部機関の研究生の受託 .....	70
6) 国際協力, 海外派遣等 .....	70
<b>第4章 産業安全技術館業務</b>	
4.1 産業安全技術館の活動 .....	72
4.2 大阪産業安全技術館の活動 .....	73
<b>付 録</b>	
1) 産業安全研究所年譜 .....	75
2) 産業安全研究所案内図 .....	77

# 第1章 総 説

## 1.1 研究活動等の概要

当研究所は、職場における労働者の安全を確保することを使命とし、科学と技術の面から事業場における災害の防止に係る調査研究を推進している。我が国の労働災害は長期的には減少傾向にあるものの、なお1年間に60万人近い労働者が被災しており、また、建設現場での倒壊・土砂崩壊災害、化学プラントでの爆発災害のような重篤災害が依然として数多く発生している。特に、平成11年度には、ウラン加工施設の事故に代表されるような、技術や安全に対する国民の信頼性を大きく失墜させる災害が相次いで発生し、社会的にも当研究所の果たす役割は増大している。

ここ数年我が国の変化は極めて激しく、科学技術が急速に進歩し、経済・社会のしくみ、産業構造も大きく変化し、国際的にボーダレス化が進んできている。それらへの対応から国の科学技術政策においても変革が強く求められており、平成8年にはその具体的な取り組みを示した科学技術基本計画が5ヶ年計画として策定された。また、労働省においても、21世紀の安全で健康な職場の実現を目指して、平成10年度から新たに第9次労働災害防止計画がスタートした。さらに、平成11年1月に決定した中央省庁等改革大綱を受けて、当研究所は多くの他の国立試験研究機関と同様に、平成13年4月から独立行政法人への移行が決定している。

このような背景から、当研究所においては、平成11年度は、従来の調査研究活動に併行して将来の変革・転換に向けた新しい取り組みに挑戦した。まず、研究活動については、研究課題の一部を第9次労働災害防止計画の支援研究として位置付けて重点的に実施した。特に、労働省の特別研究として継続中の、掘削機械作業の安全化に関するバーチャルリアリティの研究、土石流等による土砂崩壊災害防止技術の研究、化学プロセスにおける爆発防止技術の研究及び生産・施工システムの総合的安全制御技術に関する研究は、対象とする災害の重大性・潜在的危険性から、緊急に安全対策を講ずべき事項として労働省の重点施策にも謳われているところであり、これらの研究を着実に実施し、成果を行政施策、産業界へ反映・還元するため、所内プロジェクトとして全所的に取り組むとともに、その一部は企業・大学との共同研究として実施した。また、外部有識者を委員とする研究検討会議を適宜開催して効率的な研究推進に努めた。経常研究については、将来の重点分野に向けた基盤研究に取り組むとともに、人間科学や社会工学の視点に立った新しいアプローチとして、産業安全に係る組織風土や作業者の行動に着目した研究にも着手した。また、国内外の研究機関との間で共同研究を推進するとともに、昨年の英国HSLに続いて、韓国産業安全保健公団の産業安全保健研究院との間に国際共同研究協定を締結し、将来の研究交流の実施に向けて体制を整備した。人的な面では、科学技術特別研究員1名が昨年に継続して認められたのに加えて、新規に短期STAフェロー1名及び平成11年度1月から5年間にわたって重点研究支援協力員5名の受け入れが認められた。施設については、昨年度建設した共同研究実験棟において風洞を中心とする施工環境シミュレーターの整備を完了した。

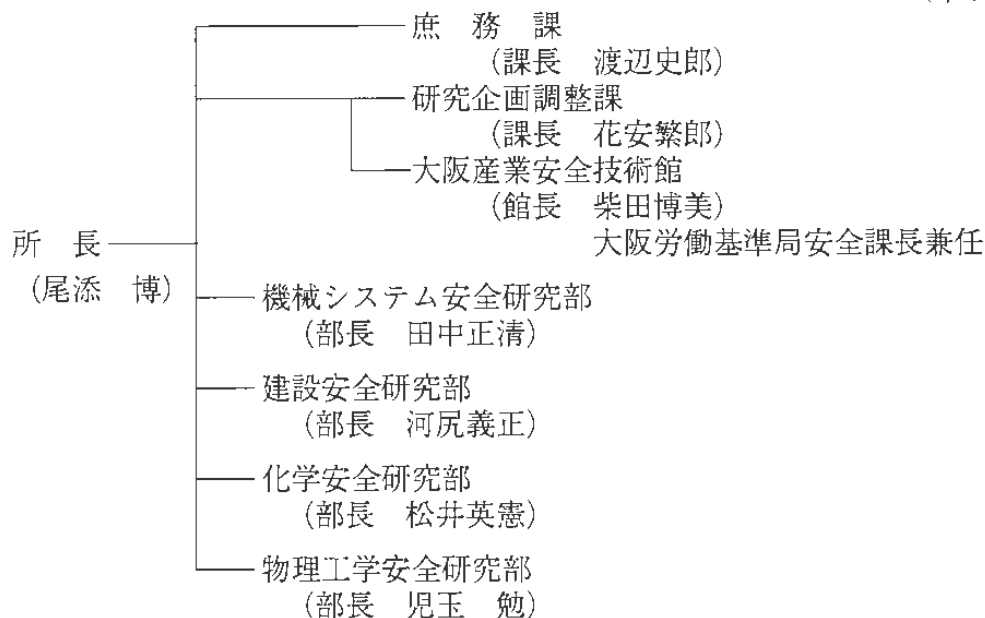
一方、研究成果は当研究所の研究報告、学協会関係の誌上・口頭発表等により公表したほか、安全技術講演会を開催して研究成果の普及・活用を図るとともに、付属の産業安全技術館における特別展の開催及び安全技術相談の実施により、広く安全技術情報の提供・普及を図った。

その他の活動としては、本年度も、行政機関からの依頼に応じて、死亡災害や重大災害の災害調査に参加して原因究明に協力するとともに、鑑定や照会に対する回答を行った。また、国際化に対応すべく海外から研究者を招聘して、所内の研究講演会を開催するとともに、国際研究集会や海外の関係機関へ研究者を派遣して、研究交流・国際貢献を行ったほか、国際共同研究に関する協議・情報交換を行った。さらに、独立行政法人化への移行に向けて、所内プロジェクト会議を設けて当研究所のあるべき将来像についての検討を行った。また、科学技術基本計画の趣旨を受けて平成9年度から実施している外部研究評価会議を平成11年度には2度開催し、特別研究課題の事前評価、中間評価等の課題評価を実施するとともに、独立行政法人化後の中期目標・計画に盛り込む研究分野及び研究課題についての意見・提言を受けた。



## 1.2 組 織

(平成12年4月1日現在)



## 1.3 定 員

(平成12年4月1日現在)

俸給表別 区分	指定職 所長	研 究 職				行 政 職					合 計
		部 長 等	主 任 研 究 官	研 究 員	計	課 長	係 長	専 門 職	一 般 職 員	計	
定員	1	5	22	12	39	1	4	1	5	11	51

## 1.4 土地および建物

(平成12年4月1日現在)

名 称	所 在 地	敷地面積 (m <sup>2</sup> )	建物面積 (m <sup>2</sup> )	備 考
労働省 産業安全研究所	東京都清瀬市梅園1-4-6	43,372	延21,338	
労働省 産業安全研究所 産業安全会館	東京都港区芝5-35-1	6,273	延13,568	
労働省 産業安全研究所 大阪産業安全技術館	大阪府中央区森ノ宮1-15-10	(831)	延2,127	敷地は大阪労働基準局所属

# 1.5 予 算

区 分	平成 11 年 度			平成 12 年 度		
	一般会計	特別会計	計	一般会計	特別会計	計
	千円	千円	千円	千円	千円	千円
人 件 費	344,778	127,636	472,414	346,264	121,391	467,655
研 究 費	179,779	262,748	442,527	178,757	250,655	429,412
經常研究費	55,484	151,340	206,824	58,379	157,609	215,988
特別研究費	124,295	111,408	235,703	120,378	93,046	213,424
(生産・施工システムの総合的安 全制御技術の開発に関する研究)	124,295	—	124,295	120,378	—	120,378
(バーチャル・リアリティによる 掘削機械作業の安全化に関する 研究)	—	39,448	39,448	—	—	—
(土石流等による労働災害防止対 策に関する総合的研究)	—	42,990	42,990	—	58,649	58,649
(化学プロセスにおける爆発災害 防止技術に関する総合的研究)	—	28,970	28,970	—	34,397	34,397
依頼試験・検定経費	767	—	767	767	—	767
産業安全技術館経費	—	27,181	27,181	—	27,171	27,171
その他の経費	24,005	157,728	181,733	77,198	157,340	234,538
(小 計)	549,329	575,293	1,124,622	602,986	556,557	1,159,543
(移替予算)						
科学技術振興調整費						
(仮設建造物の耐風安定性に関す る基礎的研究)	6,034	—	6,034			
(安全制御装置に使用される配線 板の絶縁劣化診断手法に関する 研究)	5,838	—	5,838			
(高電界による電子部材の絶縁劣 化現象の解明と評価技術の開発)	4,461	—	4,461			
(爆発燃焼反応挙動の解明)	9,073	—	9,073			
(労働環境における共生特性に関 する研究)	10,995	—	10,995			
(家庭における情報環境の共生特 性に関する研究)	5,407	—	5,407			
(小 計)	41,808	—	41,808			
合 計	591,137	575,293	1,166,430	602,986	556,557	1,159,543

## 1.6 主要試験研究施設および設備

### 1) 施設

#### (1) 特別会計

施設 の 名 称	
ガス配合室 配管等爆発実験施設 粉じん帯電実験施設 遮音実験室 液体攪拌帯電実験施設 機械安全システム実験棟 化学安全実験棟	建設安全実験棟 電気安全実験棟 環境安全実験棟 放電着火実験室 総合研究棟 材料・新技術実験棟 共同研究実験棟

### 2) 設備

#### (1) 特別会計

設 備 の 名 称	
電子計算機システム エンジニアリングワークステーション 熱線流速計システム 横型真空焼鈍炉 走査型電子顕微鏡 500トン万能試験装置 電気油圧式疲労振動試験装置 X線マイクロアナライザー 光電測光式発光分光分析装置 応力腐食割れ試験装置 高温箱型電気炉 テレメータシステム装置 周辺視野投影システム 産業用ロボット 工業用ロボット 破壊じん性試験機 構造部材疲労試験機 高温高圧水循環装置 ワイヤロープ疲労試験機 電磁共振型疲労試験機 透過型電子顕微鏡 赤外線応力画像解析システム 微小部X線解析装置 レーザー顕微鏡	温度可変装置及び試料ミキシング装置 非接触人体接近検出装置 100トン構造物疲労試験機 空間座標測定装置 万能疲れ試験機 赤外線応力パターン計測システム 軟X線光電子分光装置 地盤破壊演算装置 振動三軸圧縮試験機 重心位置測定装置 視点視野測定装置 動作自動解析システム 遠心载荷装置用加振装置 曲げ・圧縮試験機 建材試験装置 ハイスピードビデオカメラ ワークシミュレータシステム 構造物振動試験機 視聴覚刺激呈示装置 立位姿勢保持能力検査装置 非接触電子工学式変位測定装置 中空ねじりせん断試験機 転倒耐力測定装置 超小型テレメータ装置

設 備 の 名 称

<p>動的高圧力試験装置                  最高血圧自動連続測定装置                  アイマークレコーダ装置                  平衡機能測定装置                  生体情報システム装置                  自然発火試験装置                  マッハツェンダー干渉計                  フーリエ変換赤外分光光度計                  熱拡散率測定装置                  暴走反応熱測定装置                  高温伝導微少熱量計                  元素分析装置                  高速液体クロマトグラフ                  レーザー誘起蛍光分析装置                  B A M式蓄熱貯蔵試験器                  液体クロマトグラフ質量分析計                  超高速現象可視化装置システム                  反応熱量計                  熱流束式自動熱量計                  動的示差走査熱量計                  化学発光計測装置                  高圧熱酸化分解ガス発生装置</p>	<p>イメージコンバータ超高速カメラシステム                  雰囲気制御走査型トンネル顕微鏡                  低湿度型恒温恒湿装置                  表面形状精密解析装置                  最小着火エネルギー試験装置                  紫外線照射試験装置                  インバータ漏電観測装置                  高速度現象デジタル直視装置                  光弾性実験装置                  遠心载荷装置用掘削装置                  噴霧粒度分布測定装置                  生体負担解析装置                  クレーン振動模型                  粉体電界監視装置                  浮遊粒子挙動監視装置                  ショベル系掘削機の模擬体感装置                  フルデジタル制御油圧疲労試験機                  圧力計測システム                  風速計測システム                  土石流検知ユニット                  3次元土木解析システム                  頭部搭載型画像表示装置</p>
---	--

(2) 一般会計

設 備 の 名 称

<p>赤外線分光光度計                  施工環境シュミレーター                  電磁界監視解析装置                  床反力解析システム                  ドラムカメラ                  連続サンプリング付マスアナライザー                  差動型高圧示差熱天秤                  ガスクロマトグラフ質量分析計                  高圧発火エネルギー測定装置                  放電波形解析装置                  三次元動作解析システム</p>	<p>プラズマ化学処理装置                  試験ガス・蒸気発生システム                  接触角測定装置                  ヘリウム用高気圧下短絡実験装置                  環境試験装置                  内部摩擦測定装置                  吸着式ガス除害装置                  ヒューマンエラー予測評価装置                  汎用小型旋盤                  フライス盤                  多分力検出器</p>
---	--

## 1.7 図 書

### (1) 単行本

区 分	平成11年度受入数	蔵 書 数
和 書	6 3 0	1 3, 1 3 6
洋 書	1 2 7	2, 9 3 4
計	7 5 7	1 6, 0 7 0

### (2) 平成11年度中の購入雑誌の種類

区 分	雑誌の種類
和 雑 誌	6 8
洋 雑 誌	8 6
計	1 5 4

## 1.8 広 報

刊 行 物 名 称		刊行区分	発行部数
産業安全研究所研究報告	NIIS-RR-99	年 刊	7 0 0
産業安全研究所特別研究報告	NIIS-SRR-No.20～No.21	不 定 期	7 0 0
産業安全研究所年報	平成10年度版	年 刊	1, 5 0 0
安研ニュース	Vol.23, No.2～Vol.24, No.1	隔 月 刊	8 0 0
産業安全技術館だより	Vol. 3, No.2～Vol. 4, No.1	年 3 回	2, 0 0 0

## 1.9 そ の 他

### 1) 表彰等

表彰名及び表彰内容／学位取得及び論文名	氏 名
東京大学より学位授与（工学） 風が建設工事の施工性に及ぼす影響に関する研究	大 嶋 勝 利

## 第2章 研究業務

### 2.1 平成11年度の研究課題

\* 第9次労働災害防止計画支援研究

#### 1) 経常研究

- (1) 機械設備等の安全化（機械システム安全研究部）
  - a) 長尺物加工用プレス機械の本質安全化
  - \* b) ボイラーの安全弁の新機構の研究・開発に関する研究
  - c) 順応型アクチュエータによる協調制御に関する研究
- (2) 機械・構造物等の損傷・破壊防止
  - a) 超音波法を用いた熱疲労損傷による高温疲労損傷の検出技術の開発（機械システム安全研究部）
  - b) 赤外線計測による構造部材の非破壊損傷検出技術の開発（機械システム安全研究部）
  - c) 圧力容器用鋼並びにボイラ用鋼の高温水及び水素環境下での腐食疲労強度（機械システム安全研究部）
  - d) マルチサイト疲労損傷部材の寿命予測技術の開発（機械システム安全研究部）
  - e) ワイヤロープの疲労損傷と素線応力の関連性（機械システム安全研究部）
  - f) つりチェーンの疲労破壊特性と損傷検出技術に関する研究（機械システム安全研究部）
  - g) 振動を受けるジブクレーンの強度に関する研究（機械システム安全研究部）
  - h) タワークレーンの耐震対策に関する研究（機械システム安全研究部・建設安全研究部）
- (3) 作業者の人間科学的特性の解明と作業環境の安全化
  - a) 共同作業時におけるコミュニケーション・エラー発生の可能性に関する研究（機械システム安全研究部・建設安全研究部）
  - \* b) 墜落災害防止における建設作業員の意識構造に関する研究（建設安全研究部・機械システム安全研究部）
  - c) すべりの時間経過パターンを考慮したすべり評価法に関する基礎的な研究（建設安全研究部）
  - \* d) 屋根作業の安全化に関する研究（建設安全研究部）
  - \* e) 転倒衝撃吸収用エアバッグの開発及び評価に関する研究（機械システム安全研究部）
  - f) 労働環境における高齢者のための照明環境の評価に関する研究（建設安全研究部）
  - g) 原子力発電所の定検作業中における騒音環境の改善に関する調査研究（機械システム安全研究部）
  - h) 視覚情報による作業空間内の危険領域の抽出（物理工学安全研究部）
- (4) 建設工事用設備等の安全化（建設安全研究部）
  - a) 建設用タワークレーンの地震応答性状に関する研究
  - b) くさび結合式足場の安全性に関する研究
- (5) 地盤強度と土砂崩壊の防止（建設安全研究部）
  - \* a) アンカーによる土止めの変形及び崩壊挙動
  - b) 急激な沈下特性を有する地盤が移動式クレーンの転倒に及ぼす影響
  - c) 造成工事における地盤災害防止のための深層混合処理工法に関する研究
  - d) エアー封入袋体による地盤崩壊防止効果に関する研究
- (6) 可燃性ガス・粉じん等の爆発危険性
  - \* a) 微粒子粉体の発火・爆発危険性（化学安全研究部）
  - b) プレヒーティング法を用いた高温可燃性液体の発火に関する研究（化学安全研究部）

- c) 可燃性ガス・蒸気の加温・加圧下における最小着火エネルギー（化学安全研究部）
- d) ガス爆発駆動式火炎抑止装置の開発（化学安全研究部）
- e) 放電によって生成されたOHラジカルの着火への影響（物理工学安全研究部・化学安全研究部）
- (7) 化学物質の分解危険性とその防止（物理工学安全研究部）
  - a) 放電プラズマ化学反応を利用した危険・有害物質の安全処理技術の開発
- (8) 反応危険の防止（化学安全研究部）
  - a) 反応液の物性が発熱速度に及ぼす影響の実験的評価
- (9) 静電気による災害の防止（物理工学安全研究部）
  - \* a) 空気輸送粉体サイロにおける静電気による着火性放電の防止
  - b) 帯電防止材料の性能評価方法に関する研究
- (10) 電撃危険性とその防止（物理工学安全研究部）
  - a) コンバータ回路の地絡検出に関する検討
- (11) 電気材料・機器・設備等の安全化（物理工学安全研究部）
  - a) 配線板等の絶縁低下に及ぼすSO<sub>2</sub>ガスの加速性の検討
  - b) 電波によって大型クレーンに誘起される高電圧の抑制技術の開発
- (12) リスク分析と安全管理手法の開発
  - a) 労働分野における組織の安全文化に関する基礎的研究（建設安全研究部・機械システム安全研究部）
  - b) 定量的リスク評価を指向した新しい災害統計分析手法の構築（建設安全研究部）

## 2) 特別研究

### (1) 労働省

- \* a) バーチャルリアリティによる掘削機械作業の安全化に関する研究（機械システム安全研究部・建設安全研究部・物理工学安全研究部）
  - ・VR装置による人間工学的安全条件の解明
  - ・各種安全装置の要件の解明と評価
- \* b) 生産・施工システムの総合的安全制御技術の開発に関する研究（機械システム安全研究部・建設安全研究部・物理工学安全研究部）
  - ・大規模施工システムを対象とした危険性診断技術の開発
  - ・建設用ロボットを対象とした安全制御技術の開発
  - ・大規模生産システムを対象とした安全制御技術の開発
- \* c) 土石流等による土砂崩壊災害防止技術に関する総合的研究（建設安全研究部・物理工学安全研究部）
  - ・土石流発生の早期検知システムの開発
- \* d) 化学プロセスにおける爆発災害防止技術に関する総合的研究（化学安全研究部・機械システム安全研究部・物理工学安全研究部）
  - ・化学プロセスの爆発危険性の評価手法の開発
  - ・化学プロセスの安全制御と爆発防護技術の開発
  - ・爆発災害防止支援システムの開発

### (2) 科学技術庁

- a) 仮設構造物の耐風安定性に関する基礎研究（建設安全研究部）
- b) 高齢社会における製品・生活環境のユニバーサル化に関する研究（建設安全研究部）
  - ・労働環境における共生特性に関する研究
- c) 化学物質安全特性予測基盤の確立に関する研究（化学安全研究部）
  - ・爆発燃焼反応挙動の解明
- d) 安全制御装置に使用される配線板の絶縁劣化診断手法に関する研究（物理工学安全研究部）
- e) 高電界による電子部材の絶縁劣化現象の解明と評価技術の開発（物理工学安全研究部）

## 2.2 平成11年度の研究成果の概要

### 順応型アクチュエータによる協調制御に関する研究

機械システム安全研究部 杉本 旭

#### 1. はじめに

人間と協調的作業を行うロボットでは安全な接触が保障できる本質安全を確保することが重要である。一般にサーボモータの減速機は高ギア比をもつため衝突時の衝撃緩和に明らかに限界がある。本研究で開発しているMRアクチュエータは高ギア比を持つ減速機とマニピュレータの間にMR流体(Magneto-Rheological Fluids)を用いたMRクラッチを挿入することによって、減速機の影響を吸収して、人間の衝撃を大幅に軽減できる。ここでは、MRクラッチを用いた衝撃低減手法について説明する。

#### 2. 衝撃力低減手法

MRアクチュエータの構成を図1に示す。MRクラッチ内部のコイルを励磁するとアームに励磁電流に応じたトルクが伝達される。

ここでは、固い壁で拘束されている人間の掌にアームが衝突する場合を想定する。人間に加わる衝撃力とは、衝突によって運動エネルギーが筋肉組織で消散する過程で生ずる反力である。したがって、安全な衝突の条件は、力の許容限界値  $f_{ac}$  をとすれば次式で表される。

$$E = \frac{1}{2} (\gamma^2 I_m + I_g + I_a) \dot{\theta}_c^2 = \int f(x) x dx \quad (1)$$

$$\forall t; f(x) < f_{ac}$$

ここに、 $I_m$ 、 $I_g$ 、 $I_a$  はそれぞれモータ、ギア部とクラッチ駆動部、アームとクラッチ従動部の慣性モーメント、 $\gamma$  は減速比である。 $x$  は人体へのアームの食い込み量、 $f(x)$  は  $x$  の関数で表した衝撃力である。運動エ

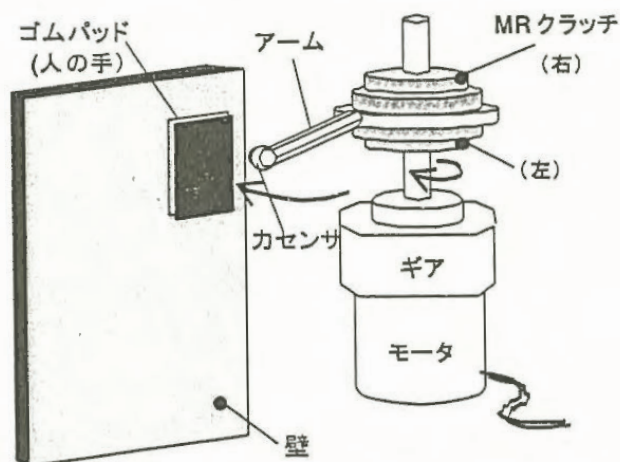


図1 MRアクチュエータによる衝撃試験

ネルギーを掌で一瞬に消散させれば、大きな破壊力となることは明らかである。

これに対して、本研究では、MRクラッチを用いて、アクチュエータの制動に要する時間を延長し、衝撃力を人間の耐性以下に制限するものである。MRクラッチの伝達トルクは、励磁電流によって決まるから、次のエネルギーの収支関係が成立する。

$$\frac{1}{2} (\gamma^2 I_m + I_g) \dot{\theta}_c^2 = \tau_{MR} \int_0^{ta} \omega dt \quad (2)$$

ここに、 $ta$  はギアを含むモータの制動に要する時間であり、MRクラッチの伝達トルク  $\tau_{MR}$  によって任意に選択できる。特に  $ta = \infty$  と設定しても、MRクラッチが一定トルクを伝達しながら滑るので、モータを緊急停止させる必要がない。

#### 3. 実験結果

実験は、図1に示すように、先端に力センサを取り付けたアームを角速度 1.0 rad/s で一定回転させ、固い壁に固定した硬質ゴム片に突き当て、そのときの衝撃力を観測するものである。ただし、MRクラッチの励磁電流は一定であり、さらに、アーム長さは 300 mm、アームの質量は 1.2 kg、ギアの減速比は 1/200、モータの等価慣性モーメントは 2.4 kgm<sup>2</sup> である。MRクラッチの励磁電流を 0.2 A、1.0 A としたときの結果を図2に示す。

衝撃力の第一主波のピークは、アーム質量の影響であり、ギアは急速停止を要さないため、衝突の影響は殆どない。MRクラッチがトルク限界に対するヒューズの効果を現していることがわかる。今後は人間の耐性値を考慮した本質安全化を目指す。

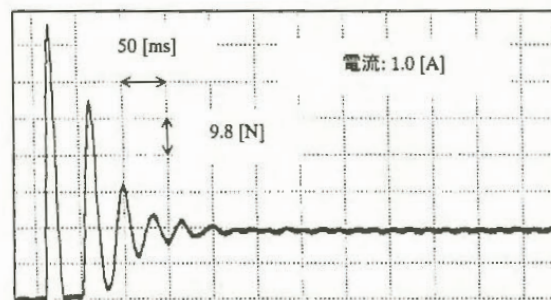
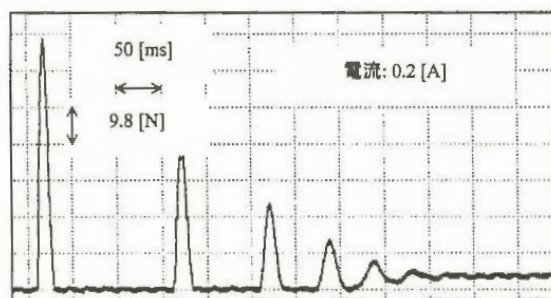


図2 衝撃吸収のパターン



# 赤外線計測による構造部材の非破壊損傷検出技術の開発

機械システム安全研究部 本田 尚, 佐々木哲也

## 1. はじめに

構造物の破損の原因となる疲労き裂は、通常、傾斜・屈折・分岐を伴うため、単一モードであることは稀である。したがって、構造物の損傷による労働災害を未然に防ぐには、混合モードの疲労き裂を非破壊的に精度よく評価することが必要である。そこで本研究では、混合モードにあるき裂先端近傍の応力分布を、赤外線応力測定装置を用いて非破壊的に測定し、得られた応力画像から応力拡大係数範囲  $\Delta K_I, \Delta K_{II}$  を求め、解析解との比較を行った。

## 2. 応力拡大係数範囲の算出方法

平面応力状態での混合モードにおけるき裂近傍の応力は、モードIとモードIIの和として表すことができる。赤外線応力測定では、主応力和（応力の第一不変量）を計測しているため、き裂近傍の応力振幅  $\Delta\sigma$  は以下の式で表される。

$$\Delta\sigma = \sqrt{\frac{2}{\pi r}} \left( \Delta K_I \cos \frac{\theta}{2} - \Delta K_{II} \sin \frac{\theta}{2} \right) = \sqrt{\frac{2}{\pi r}} \Delta K_{III,\theta} \quad (1)$$

$$\Delta K_{III,\theta} = \Delta K_I \cos \frac{\theta}{2} - \Delta K_{II} \sin \frac{\theta}{2} \quad (2)$$

ここで、 $\theta$  はき裂と引張り軸のなす角、 $r$  はき裂長さである。き裂先端から任意の二方向の応力値を用いて(1)式から  $\Delta K_{III,\theta}$  を求めれば、(2)式の連立方程式を解くことにより、 $\Delta K_I, \Delta K_{II}$  を求めることができる。

## 3. 実験方法

図1に示すような3種類の傾斜き裂を導入した試験片を用意し、19.6kN容量の電気油圧式疲労試験機を用いて、 $\Delta\sigma = 40\text{MPa}$ 、応力比  $R = 0.1$  で加振し、赤外線応力測定装置により各傾斜き裂近傍の応力分布を測定した。なお試験片には赤外線放射率を高めるため、黒色塗料を塗布し、赤外カメラには、4倍の拡大レンズを装着した。

## 4. 実験結果および考察

図2に測定例を示す。モードIの場合と異なり、応力分布がき裂をはさんで非対称であるのが分かる。図3に  $\theta = 30^\circ$  における、き裂先端から任意の2方向の応力分布を示す。いずれの分布もき裂先端に近づくと、応力は急激に増加しており、主応力和が  $r^{-1/2}$  の特異性を有していることが確認できた。これら2方向の

測定値をそれぞれ(1)式に代入し、(2)式から  $\Delta K_I, \Delta K_{II}$  を求めた。結果を表1に示す。測定値と解析値は良く一致し、この方法で、混合モードの疲労き裂を評価できることが確認できた。

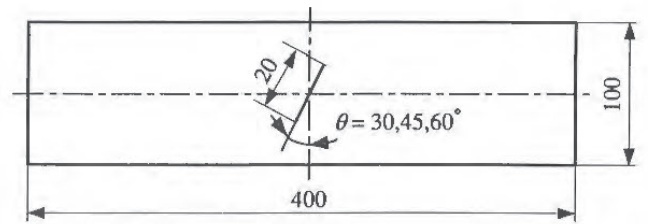


図1 試験片形状 (mm)

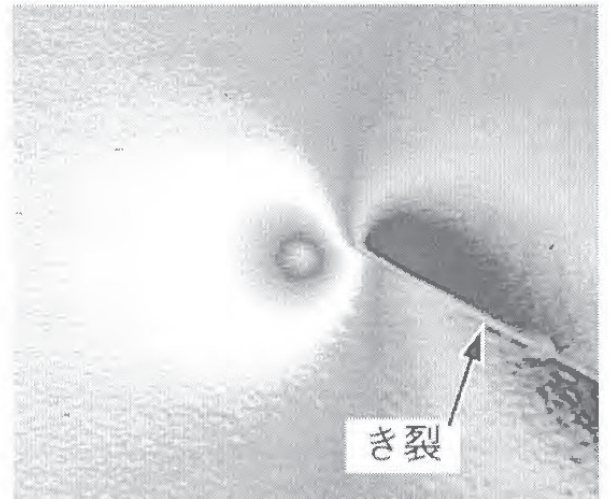


図2 傾斜き裂近傍の応力分布画像 ( $\theta = 30^\circ$ )

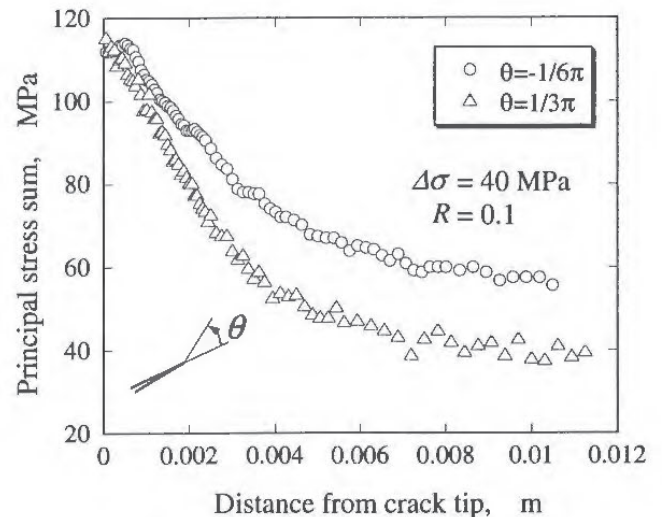


図3 き裂先端からの応力分布

表1 実験値と解析値の比較

傾斜角 $\theta$	実験値 ( $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ )		解析値 ( $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ )	
	$\Delta K_I$	$\Delta K_{II}$	$\Delta K_I$	$\Delta K_{II}$
$30^\circ$	5.58	2.94	5.47	3.09
$45^\circ$	3.07	2.46	2.76	2.70
$60^\circ$	2.03	2.84	1.39	2.35

1. はじめに

SUS316鋼の母材, 溶接継手の熱疲労(温度範囲300~700℃)及び高温低サイクル疲労試験(温度700℃)を行ってきたが, 溶接継手の熱疲労寿命が他の寿命と比べて大幅に短くなった。この原因について検討するため, 今年度は疲労試験過程での材質の劣化等を調べた。

2. 供試材および実験方法

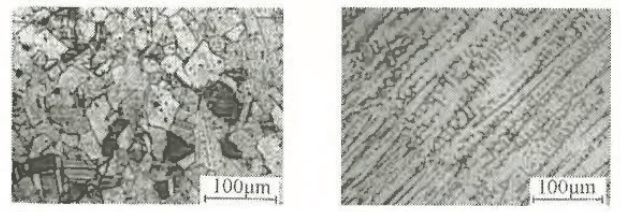
供試材の組織を図1に示す。溶接金属はオーステナイト( $\gamma$ 相)中に $\delta$ フェライト( $\delta$ 相)を含む二相組織(疲労試験前の $\delta$ フェライト含有量は約8%), 母材は $\gamma$ 単相組織である。高温下では $\delta$ フェライト相は分解して $\sigma$ 相と呼ばれる硬くて脆い金属間化合物を生成し, これが脆性的な破壊を引き起こすといわれている。そこで, 所定回数の負荷毎に疲労試験を中断し, フェライトスコープ(Helmut-Fischer製, Fe8e3)によって残存 $\delta$ フェライト量を測定し, 試験進行に伴う変化を求めた。

3. 実験結果

機械的歪み範囲が1%, 1周期600sの高温低サイクル疲労と熱疲労, 温度条件が各々高温低サイクル疲労, 熱疲労と同一で, 機械的負荷を0に保ったもの, 4つの場合について分解した $\delta$ フェライト量の推移を図2に示す。いずれの場合も $\delta$ フェライトの分解はかなり早く進むが, 温度の影響を強く受け, 温度が高い状態に保たれる高温低サイクル疲労等でより急激である。

図3は, 母材, 溶接金属中を進展する熱疲労き裂の様相を示したものである。母材では主き裂が単独で進展している。一方, 溶接金属では $\sigma$ 相領域に沿ってジグザグに進展しているが, これはき裂同士の合体を示している。即ち, 主き裂が進展する領域には脆い $\sigma$ 相に沿って多数の内部き裂が既に存在しており, これらが主き裂と合体することにより, き裂進展速度が増加し, き裂進展寿命が母材より短くなったといえる。

溶接金属の熱疲労と高温低サイクル疲労では, 材質面のみを見れば, 上記したように高温低サイクル疲労の劣化度が大きいといえる。しかし, 機械的負荷では, 図4に見られるように, 熱疲労の方がより厳しい応力状態となる。実際, 熱疲労ではクリープの特徴である粒界3重点の楔形き裂等の他に, 主き裂とは独立して長く成長した内部き裂が複数見受けられた。したがって, 高温低サイクル疲労よりも内部き裂が発生, 進展し易い状態にあったといえ, これらが主き裂と合体すれば, き裂伝ば寿命はより短くなる。この応力状態の相違が, 熱疲労での短寿命化の原因と考えられる。



(a) 母材 (b) 溶接金属

図1 試験前の供試材の組織

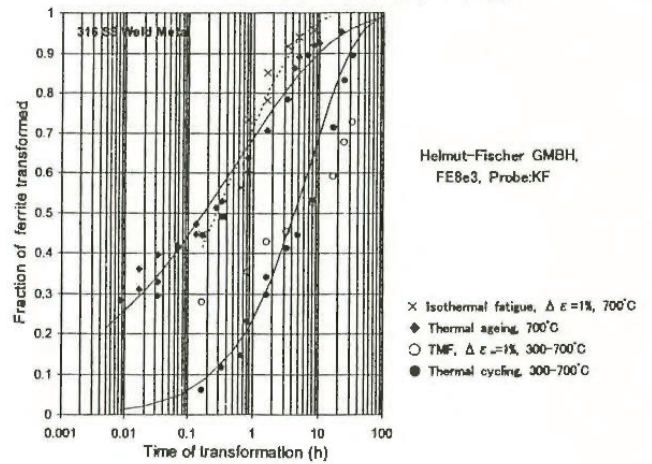
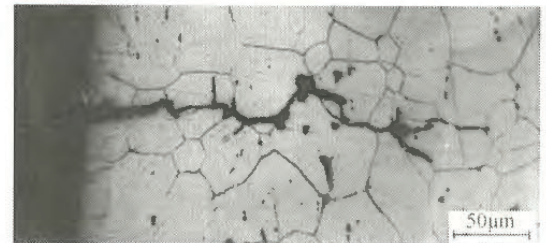
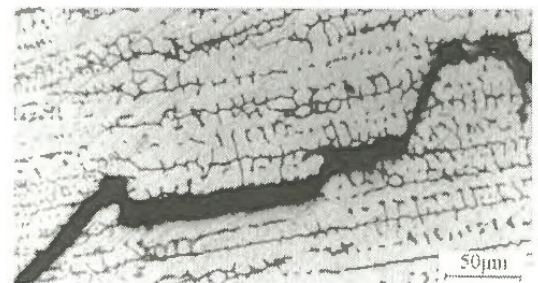


図2 分解した $\delta$ フェライト量の推移



(a) 母材



(b) 溶接金属

図3 熱疲労き裂進展の様相

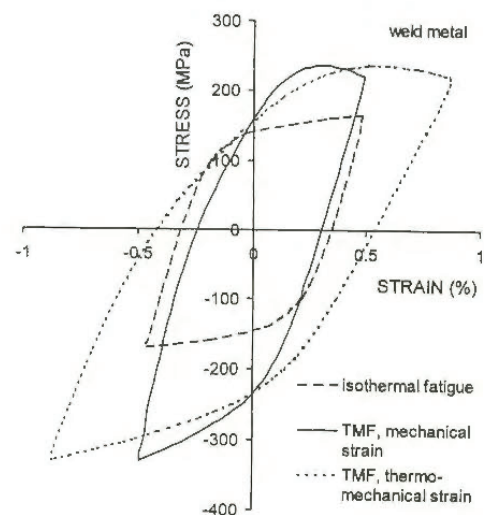


図4 溶接金属の応力-歪みヒステリシス

機械システム安全研究部 佐々木哲也, 本田 尚

### 1. 緒言

マルチサイト損傷は、繰返し荷重を受けるリベット接合部やボルト摩擦接合部において、隣り合う複数のリベット孔やボルト孔からほぼ同時に疲労き裂が発生するとともに、それらが成長・合体することによって急速に破断に至るような現象であり、近年航空機等で事故事例が報告されているが、既存の機械や構造物の設計時には考慮されていない。

そこで本研究では、マルチサイト損傷を考慮した疲労寿命予測を行うために、リベットやボルトの締付力に着目し、それらがリベット継手やボルト摩擦接合継手の疲労強度やマルチサイト損傷の発生の有無に及ぼす影響を明らかにする。本年度は、ボルト摩擦接合継手における締付け力のばらつきをトルク法を対象として実測するとともに、締付け力が継手の応力分布に及ぼす影響について検討した。

### 2. ボルト摩擦接合継手における締付け力のばらつき

リベット接合継手やボルト摩擦接合継手の疲労強度に、リベットやボルトの締付け力が大きな影響を及ぼすことが従来から指摘されている。そこで、まず、ボルト摩擦接合継手において、実際にどの程度の締付け力のばらつきが存在するのかを調べた。測定は、3人の作業員A, B, Cがトルクレンチを使用して、1セット当たり「締付け」、「緩め」を100回ずつ繰返し、所定の締付トルクに達した時点でのボルト軸力をボルト内に埋込んだ軸力測定用ひずみゲージで計測した。実験は合計4セット行い、各セットごとに異なるボルト、ナット、座金、被締結材を使用した。

図1は4セット全てに対するボルト軸力の頻度分布を示したものであり、表1は各セットごとの作業員、ボルト軸力の平均値、変動係数(C.O.V.)を示したものである。表1から、トルクレンチを用いた締付け力管理では、ボルト軸力が変動係数で5~15%程度ばらつき、変動係数の大きさは作業員に依存することが分かる。

### 3. ボルト摩擦接合継手の応力分布

ボルト締付け力がボルト摩擦接合継手の応力分布に及ぼす影響を明らかにするために、ボルト軸力を制御した上で、赤外線応力測定装置によってボルト孔近傍の応力振幅分布を測定した。

一例として、ボルト軸力  $F=16\text{kN}$  の場合を図2に示す。図2の中央部がボルトの頭部であり、その両脇の

白い部分が疲労き裂先端近傍の応力集中部である。負荷荷重振幅を一定に保ったままでボルト締付け力を変化させ、応力振幅分布を調べた結果、ボルト締付け力が大きくなるほど、き裂先端近傍の応力振幅が小さくなることが確認できた。

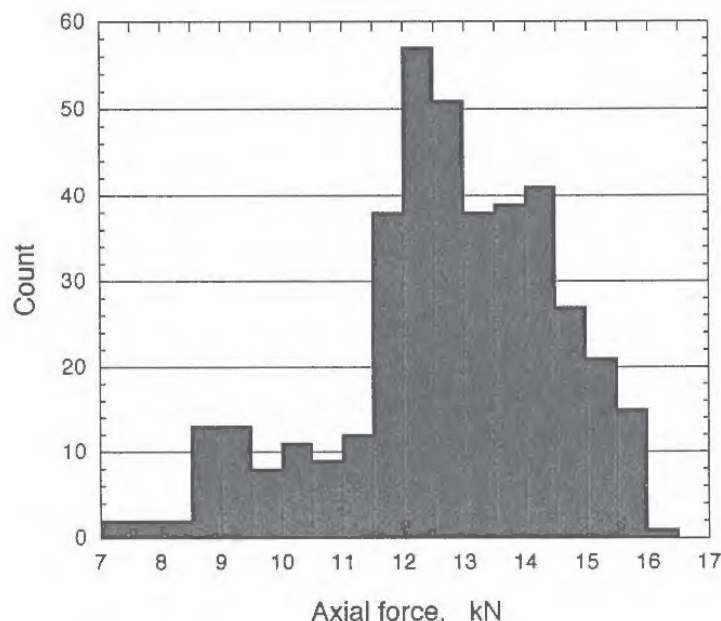


図1 ボルト軸力の頻度分布 (全セット)

表1 トルク法におけるボルト軸力のばらつき

Test No.	1	2	3	4	all
Worker	A	B	A	C	—
Mean, kN	14.1	14.0	10.7	12.2	12.7
C.O.V., %	9.36	4.66	15.1	5.40	14.3



図2 ボルト摩擦接合継手の応力振幅分布 (ボルト軸力  $F=16\text{kN}$ )

# 大規模システムの破壊に対する安全性・信頼性評価手法の開発

機械システム安全研究部 佐々木哲也

## 1. 緒言

大規模システムの破壊は重大な災害をもたらすと考えられるため、強度的に十分な安全裕度を有している必要がある。しかし、実際に大規模システムを構築し、維持していくためには経済性の問題を無視できないから、破壊確率によって信頼性を定量化し、適切な安全裕度を設定することが必要とされる。そこで本研究では、大規模システムの破壊を主たる対象として、破壊確率の評価を可能にするための手法の開発を行っている。本年度は、破壊確率の評価に際して最も重要な、設計点探索のための非線形最適化アルゴリズムに対し、ロバスト性や収束速度の観点から比較検討を行った。

## 2. 破壊確率の評価方法

$x$ を破壊に関与する確率変数、 $f(x)$ を結合確率密度関数とすると、破壊確率 $P_f$ は、

$$P_f = \int \dots \int_{g(x) \leq 0} f(x) dx \quad (1)$$

で表される。ここで、 $g(x) \leq 0$ は破壊領域であり、 $g(x) = 0$ を限界状態曲面と呼ぶ。しかし、式(1)を直接評価することは困難な場合が多いため、一般には1次近似法(First-Order Reliability Method; FORM)や重み付きモンテカルロ法によって破壊確率 $P_f$ を近似的に評価する。

FORMでは、 $x$ 、 $g(x) = 0$ をそれぞれ独立標準正規確率空間の $u$ 、 $G(u) = 0$ に変換し、

$$\begin{aligned} u^T u &\rightarrow \min. \\ \text{subject to } G(u) &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

なる制約条件付き非線形最適化問題を解くことにより、 $G(u) = 0$ 上で原点までの距離が最短となる点として設計点を探索する。そして、原点から設計点までの距離として信頼性指標 $\beta$ を求め、破壊確率 $P_f$ を近似的に評価する。

## 3. 検討した非線形最適化アルゴリズム

図1に設計点探索のための制約条件付き非線形最適化アルゴリズムの検討に使用した破壊確率評価システムの構成を示す。検討の対象としたアルゴリズムは、Hasofer-Lind法、Augmented Lagrange関数法、ペナルティ関数法、逐次2次計画(Sequential Quadratic Programming; SQP)法の4種類である。

## 4. 非線形最適化アルゴリズムの検討結果

各非線形最適化アルゴリズムを使用して、限界状態関数がそれぞれ式(3)、(4)で示されるような不静定梁の曲げ破壊とフレーム構造の破壊などに対して、信頼性指標の評価を行い、各アルゴリズムのロバスト性や収束速度について検討した。

$$g(x) = x_1 x_2 - 78.12 x_3 \quad (3)$$

$$g(x) = x_1 + 2x_3 + 2x_4 + x_5 - 5x_6 - 5x_7 \quad (4)$$

表1、表2は収束の可否と、収束までに $\nabla G(u)$ と $G(u)$ を計算する関数が呼び出された回数を示したものである。この2例に対する限り、Hasofer-Lind法と逐次2次計画法が本システムの制約条件付き非線形最適化アルゴリズムとして優れているようであるが、今後更に検討する必要がある。

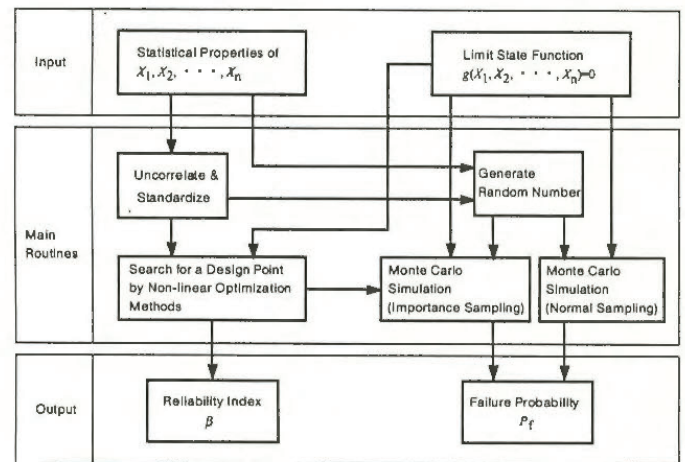


図1 破壊確率評価システムの構成

表1 式(3)に対する各アルゴリズムの適用結果

Optimization Method	Convergence	$\nabla G$	$G$
Hasofer-Lind	Converged	11	45
Augmented Lagrangean	Converged	659	4,582
Penalty Function	Not Converged	-	-
SQP	Converged	10	96

表2 式(4)に対する各アルゴリズムの適用結果

Optimization Method	Convergence	$\nabla G$	$G$
Hasofer-Lind	Converged	13	105
Augmented Lagrangean	Converged	519	5,639
Penalty Function	Not Converged	102	1,222
SQP	Converged	12	155

# つりチェーンの疲労破壊特性と損傷検出技術に関する研究

機械システム安全研究部 田中正清, 本田 尚

## 1. はじめに

近年の規制緩和の流れから、つりチェーンの安全基準が見直されている。しかしながら、つりチェーンの疲労破壊特性について詳細に研究した例はなく、また定期検査の際に、疲労損傷を検出する有効な検査法も確立されていない。そこで、チェーンの破損による労働災害の防止を目的として、本年度はつりチェーンの応力解析を行うとともに、疲労破壊特性について調査を行った。

## 2. つりチェーンの応力解析

今回の実験および解析には、JIS B-8812に定められたリンクチェーンCT-10を使用した。図1に、その形状を示す。応力解析には汎用の有限要素コードMARCを用い、リンクチェーンを3次元弾性接触問題として解析を行った。解析モデルは、溶接部は無視し、対称性を考慮して、チェーン1/2を上下に組み合わせた形状とした。ヤング率 $E = 206\text{GPa}$ 、ポアソン比 $\nu = 0.3$ とし、要素数は13440、接点数は15130である。図2に解析結果を示す。解析の結果、チェーン肩部内側に非常に大きな引張り応力が発生しており、その大きさは、定格荷重(2.5t)を負荷した場合、約740MPaで、ほぼチェーン素材の降伏応力に近い値であることが分かった。

## 3. つりチェーンの疲労試験

図1に示すチェーンを3リンク使用して、疲労試験を行った。図3に疲労破壊したリンクチェーンの典型例を示す。この図のように、疲労試験では、必ずしも中央のリンクが破断するとは限らなかったが、破断したリンクは、いずれも応力解析で引張りが最大となった肩部内側から破断しており、応力解析結果の妥当性を裏づける結果となった。図4にリンクチェーンの疲労試験結果を示す。縦軸は負荷荷重、横軸は破断までの繰返し数で、両軸とも対数をとっている。JISによると、今回使用したチェーンの使用荷重は、24.5kN以下と定められているが、使用最大荷重で疲労試験を行ったところ、 $5.7 \times 10^5$ 回で破断し、疲労限とされる $10^7$ 回よりはるかに小さい繰返し数で破断することが明らかとなった。最後に、チェーンは浸炭処理により表面が硬化されているため、破断寿命のほとんどをき裂発生寿命が占めていると予想される。したがって、事故を未然に防ぐには、今後レプリカ法などにより、き裂発生寿命を明らかにすることが必要と思われる。

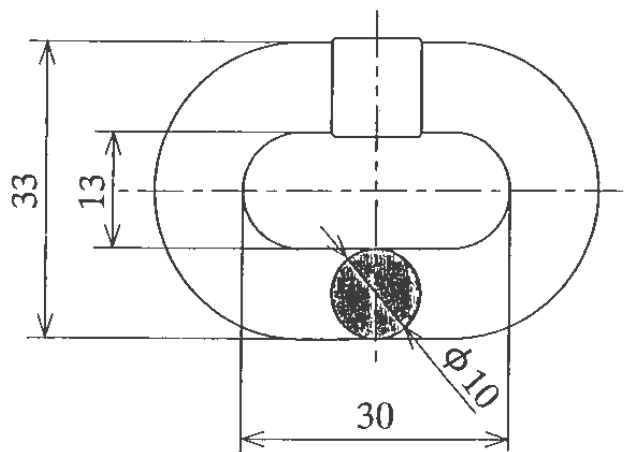


図1 リンクチェーンの形状 (mm)

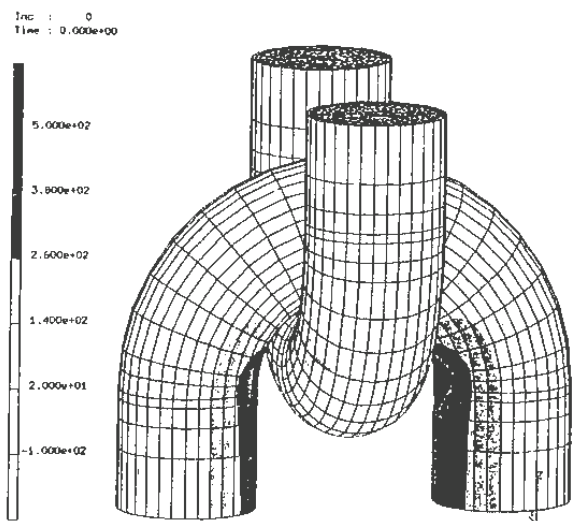


図2 リンクチェーンの有限要素解析結果



図3 疲労破壊したリンクチェーン (荷重振幅35.3kN)

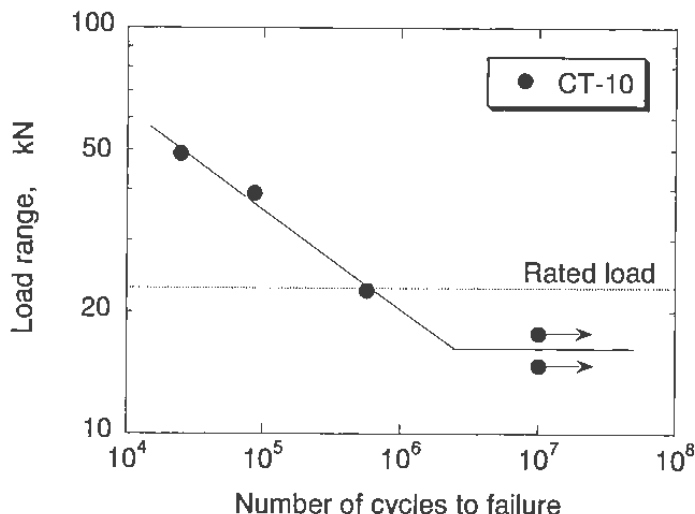


図4 リンクチェーンの疲労試験結果

機械システム安全研究部 梅崎重夫

### 1. 研究目的

大規模生産システムでは、製品の搬入・搬出のために開口部が設けられている。このような箇所では、製品の搬入・搬出時は機械の運転を許可するが、人体の進入時には直ちに機械を停止できる安全システムが必要である。そこで、このような安全システムに適用できる装置として、ポテンシャル極大原理に基づくループセンサと自己確認機能を備えた静電容量センサの検討を行った。また、ブランキング(特定光軸の無効化)機能を備えた光線式安全装置を開発した。これは、大規模生産システムだけでなく、プレス機械やロール機にも適用可能である。

### 2. ポテンシャル極大原理に基づくループセンサ

ループセンサに金属物体を進入させると、金属物体の表面に渦電流が流れる。これは、等価的には回路のインダクタンス変化に相当する。そこで、この変化を利用して金属物体の有無を判定する。

このセンサでは、金属物体が実際には存在していないにもかかわらず故障によって「存在している」と判定すると、機械が運転を開始して危険を伴う。そこで、金属物体が進入している状態を最もエネルギー的に高い状態とし、それ以外の状態(例えば金属の除去やセンサの故障)をエネルギー的に低い状態として、フェール

セーフな特性を実現している。これをポテンシャル極大の原理に基づくセンサと呼ぶ。

### 3. 自己確認機能を備えた静電容量センサ

対向する電極板の間に人体が進入すると、静電容量が変化する。しかし、この変化は微小であるので、ちょっとした電磁環境の変化によって誤検出が生じる。そこで、静電容量センサに直列に補助容量を設け、補助容量の両端で定期的に短絡/開放を繰り返す。これによって、人体がセンサに進入したのと同様の状況を作りだし、センサの正常性を確認する。これを自己確認機能を備えたセンサと呼ぶ。

### 4. ブランキング機能を備えた光線式安全装置

人体と製品の両方が進入する箇所では、製品が光線式安全装置の光軸を遮光するため、当該装置の使用は困難であった。そこで、製品が遮光する光軸を自動的に記憶して無効化する光線式安全装置を開発した。これが教示機能を備えたブランキングシステムである。

図1に、本システムの構成を示す。このシステムでは、作業者は切り替えスイッチを教示モードに切り替えた後、製品を両手で保持しながら操作装置を操作して(教示命令)、ブランキング光軸を記憶装置に記憶させる。次に、切り替えスイッチを運転モードに切り換えた後、製品を両手で保持しながら操作装置を操作して(運転命令)機械を起動させる。このとき危険領域内に手指等が進入していると、ブランキング光軸以外の光軸が遮光されるために機械は起動しない。また、製品の位置がずれたときや、形状の異なる製品を誤って入れたときなどは、ブランキング光軸以外が遮光されたり、ブランキング光軸が通光となるため、この場合も機械は起動しない。なお、本システムでは、プログラマブル・コントローラ(PLC)の故障によって誤った運転許可信号を発生しないように、異種のPLCを多重化してシステムの安全性を向上させている。

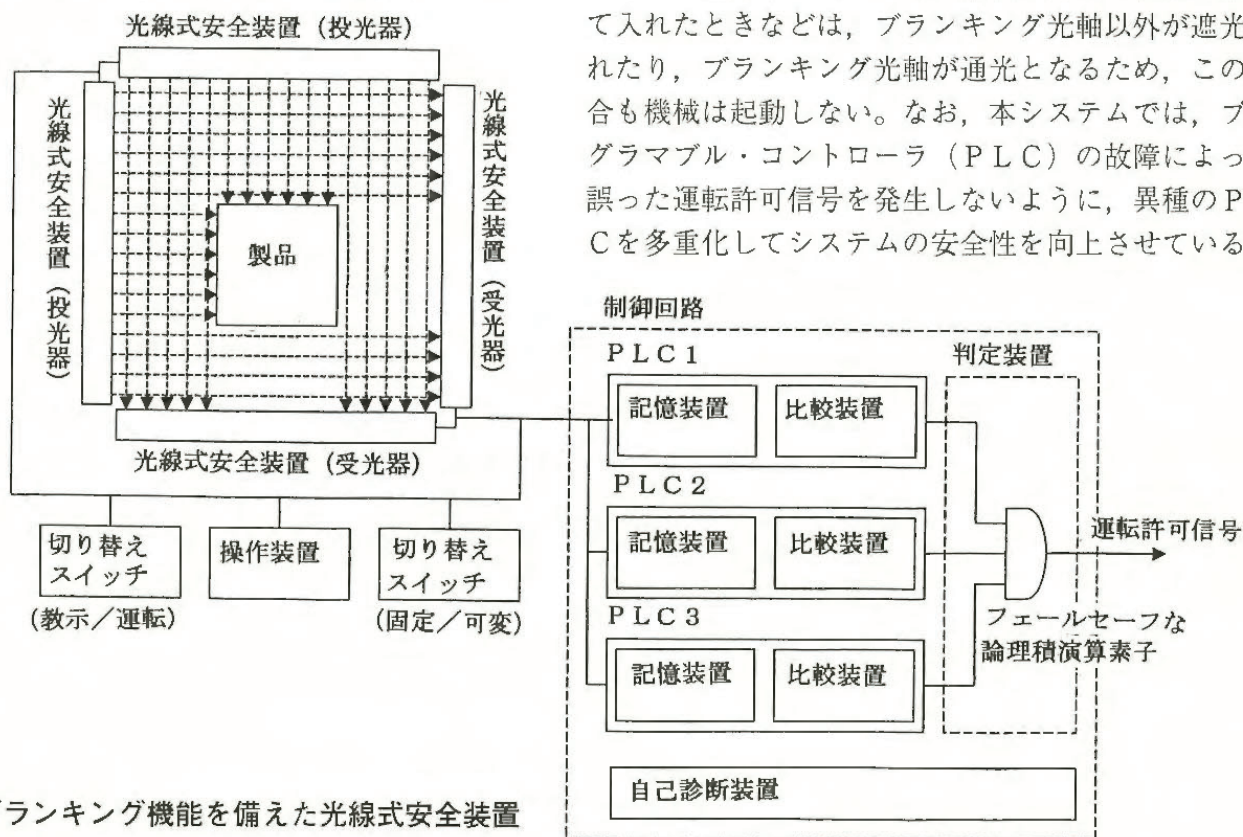


図1 ブランキング機能を備えた光線式安全装置

機械システム安全研究部 梅崎重夫

### 1. 研究目的

大規模生産システムでは、起動時の安全確認は、作業者が広大な領域内を直接目で見て行う方法が一般的である。しかし、人間の視認能力には生理的限界があるために、人間による広大領域内の安全確認は相当な困難を伴う。そこで、本研究では、人間に代わって広大領域内の安全確認を自動的に行うレーザー式安全確認装置の開発を試みた。

### 2. 開発した装置の基本構成

図1に、本装置の基本構成を示す。この装置は、レーザー光を発光する投光器と、レーザー光を鏡面に当て鏡面を設定角度だけ回転させることで所定の領域内にレーザー光を拡散させるスキヤニング装置と、回帰反射体を設けた反射板と、レーザー光をハーフミラーとレンズを用いて集光する集光装置と、集光装置が集めたレーザー光を電気信号に変換する受光器と、受光器が発生する電気信号を処理する信号処理回路を備えている。

また、本装置では、レーザー光の走査領域を、人体や物体が検知領域内に存在していないことを確認する安全確認領域、装置が安全確認領域の全域を正常に走査していることを確認する正常確認領域に分割している。さらに、本装置では、各領域に設置した反射板に、

所定のパターン（所定の幅、個数又は設置間隔）を持った回帰反射体を設けている。

### 3. 安全確認の方法

上記のような構成の下で正常確認領域をレーザー光で走査したときは、装置が正常であり、かつ正常確認領域に人体や物体の全部又は一部が存在していなければ、受光器には図2(a)の $S_N$ のようなオン/オフ波形で所定の時間幅を有するものが、所定の周波数、所定の時間間隔で発生する。また、安全確認領域をレーザー光で走査したときは、図2(a)の $S_S$ のようなオン/オフ波形で所定の時間幅を有するものが、所定の周波数、所定の時間間隔で発生する。以後、これらの波形を「正常パターン」と呼ぶ。この正常パターンが受光器から発生しているときは、安全と正常の両方が確認できているとして、運転許可信号を出力する。

これに対し、安全確認領域または正常確認領域に人体や物体の全部又は一部が存在しているときは、出力信号 $S_N$ と $S_S$ は図2(b)のような異常パターン（直流信号）となって、正常パターンから外れる。また、故障によって投光器の発光が停止したとき、スキヤニング装置の故障によってレーザー光が安全確認領域の全域を走査できなくなったとき、光環境が変化したとき（これには、外乱光の強度変化、投光器から発光する光の強度変化、光学系の汚れによる受光感度の変化などがあげられる）、又は反射テープがずれたり汚れたりしたときも出力信号は正常パターンから外れる。よって、このときは運転許可信号の生成を停止させる。

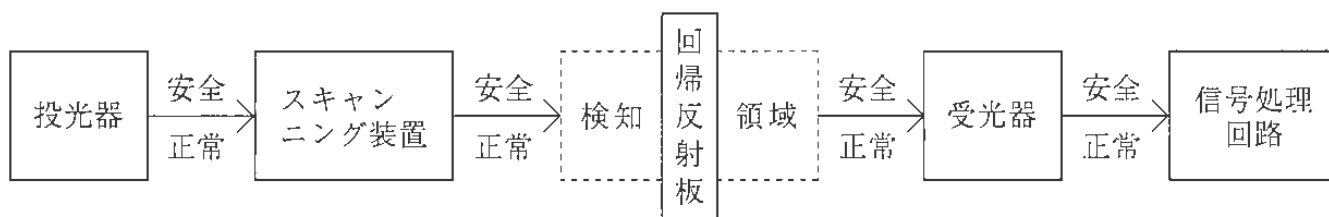


図1 本装置の基本構成

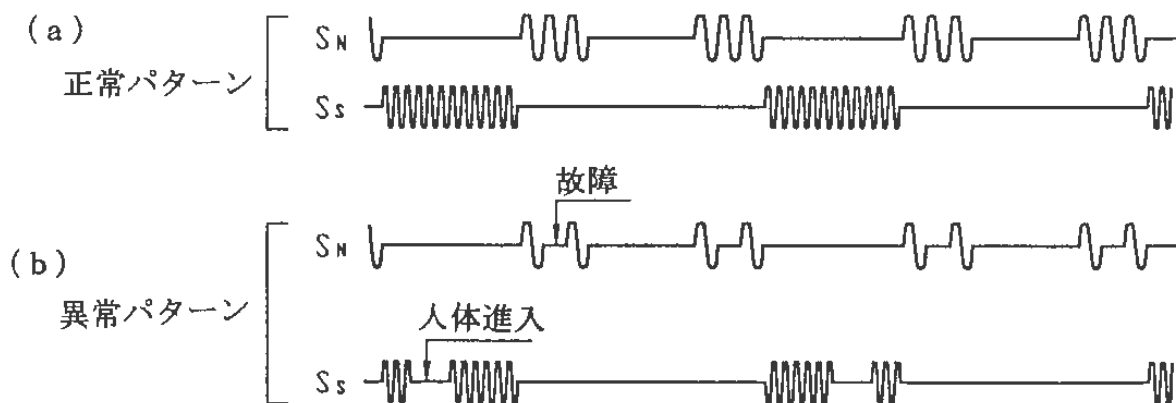


図2 受光器の出力波形

機械システム安全研究部 池田博康, 清水尚憲

### 1. はじめに

本研究では、ロボット周辺の人間の安全を確保する技術の確立を目的として、人間と協調しながら施工作業を行うロボットシステムの開発を行っている。本年度は、主に、衝突防止用軟接触センサの適用試験とマニピュレータの開発を行った。

### 2. 軟接触式バンパの移動機構への適用

施工作業用ロボットの移動機構は、車輪もしくはゴムクローラにより自在な移動を可能としている。ただし、人間との接触時は接触を確実に検出して緊急停止させる機構と緩衝機構が必要である。本研究では、既に、導電性塗料をシリコンゴムに塗布した柔軟歪みセンサをリング状の板バネに組み込んで、フェールセーフなバンパを提案している。これは、板バネにより若干伸張されたセンサの抵抗値を3値の窓検定を行うことで、バンパの正常状態を常に確認する仕組みを実現している。また、このセンサの電気的特性は、ほぼ抵抗成分のみであり、良好な応答性を示した。

移動機構用バンパは、センサを組み込んだ4個のリング状バネをセンサなしのリング状バネの周囲に配置する構成とし、実際に走行中の移動機構を人間に衝突させて、その検出特性を検証した。図1は測定結果であり、約60kΩで正常状態にあったセンサが、人間の接触により伸張して抵抗値が上昇すると、検定窓から外れて検定出力が消滅する。それにより、非励磁型電磁ブレーキへの給電が遮断されて、移動機構は急停止される。このときの制動距離は29cmほどであり、人間への衝撃はバンパの柔軟性で十分抑制された。

### 3. マニピュレータ機構の検討と試作

施工作業用ロボットによるマニピュレーションは、移動完了後に機能するようインターロックされるが、人間と協調作業するためにはアクチュエータの安全設計が必須である。本研究では、人間との接触時に過大な衝撃とはならないための要素として、ブレーキやクラッチを各関節軸に組み込む設計を行った。いずれも、アクチュエータ出力を制限する受動的要素であるが、これらを積極的に制御することにより、安全かつ機能的な動作が期待できる。

図2は、3自由度(旋回1, 屈曲2)をもつ実験用マニピュレータの構造を表しており、異なる関節機構において、出力抑制特性や位置決め等の制御機能を評

価するために試作した。一般に、制御性が劣る空気圧のアクチュエータであっても、ブレーキの制御によりその位置決め精度は向上する。加えて、重力補償等により機能的な性能も付加することが可能となった。

今後、双腕マニピュレータへの発展と制御機構のシステム化を行う予定である。

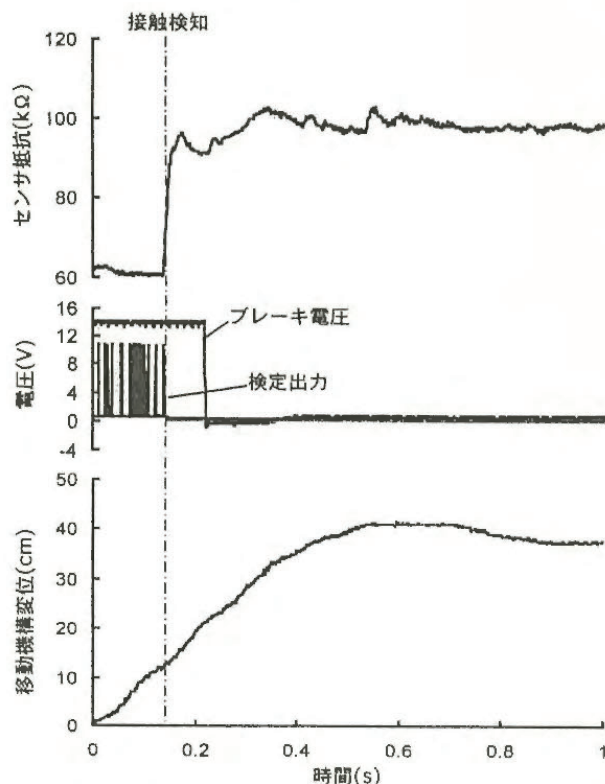


図1 軟接触式バンパによる移動機構の非常停止特性

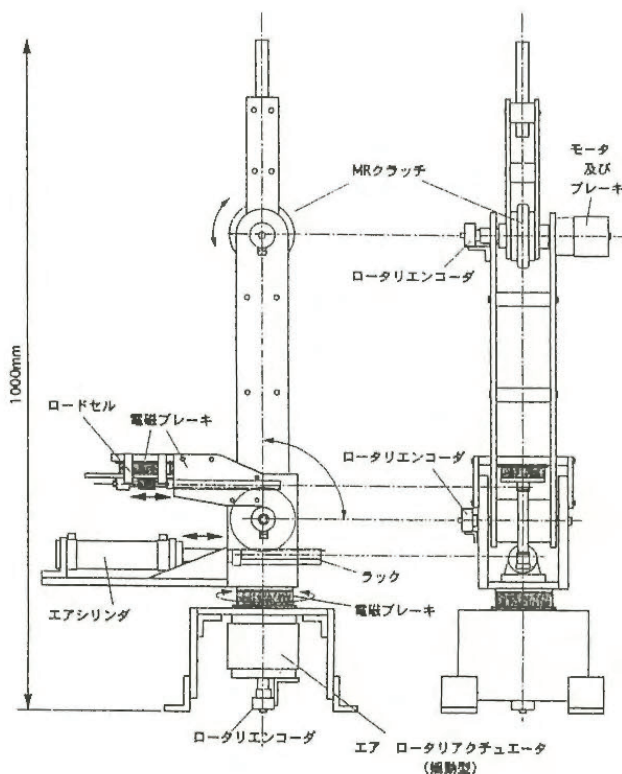


図2 実験用マニピュレータの構造



## 建設用タワークレーンの振動性状に関する研究

建設安全研究部 高梨成次, 河尻義正, 大嶋勝利

### 1. はじめに

阪神・淡路大震災によって、建設用タワークレーンが多数被災した。現状のタワークレーンの耐震設計法には、タワークレーンと連結される建設中の建物の影響は考慮されていない。本研究では、建設中の建物の振動特性を変動因子とした振動台実験によって、建物の振動特性がタワークレーンに及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。又、ステアーにオイルダンパを組み込むことによる、タワークレーンの耐震安全性の向上について検討する。

### 2. 建設用タワークレーンの縮小模型実験

写真1に実験で用いたタワークレーンの縮小模型を示す。縮小模型は、実大タワークレーンの1/36縮尺とした。加力方法は、振動台による強制加振とした。入力地震波は、兵庫県南部地震時に神戸海洋気象台で観測されたNS波とし、時間軸を相似則に従い1/6に縮めて入力した。

想定建物は鉄骨造として2種類用意した。それぞれ、建物高さを約60m, 80mに設定した。その他に、現状の耐震設計法を模擬するため、建物を剛体として、建物の挙動がタワークレーンに影響が及ぼさない実験も行った。

想定したタワークレーンは、基礎部から旋回体部分までの高さを約70mとし、ステアーを2段に設置した。オイルダンパを用いた実験では、上段のステアーにのみオイルダンパ組み込んだ。想定建物の種類に関わらず、ステアーの位置は同一とした。振動台実験を実施した実験一覧を表1に示す。

### 3. 実験結果及び解析結果

図1に、各実験で得られたタワークレーン各部の最大応答曲げモーメントを棒グラフとして示す。図中にはタワークレーンを支持するマスト部材の終局、降伏モーメントを合わせて示してある。これらは、マスト部材の断面積と材料強度から略算的算出した。

オイルダンパを組み込まない場合、建物の特性に関わらず、上段ステアー取付部において、マスト部材の最大応答曲げモーメントが、終局モーメントに達している。このことより、被災の状況が概ね説明できた。これに対し、ステアーにオイルダンパを組み込むことによって、マスト各部に発生する最大応答曲げモーメントを低減できることが確認できた。但し、本実験においては、オイルダンパの仕様が最適ではなかったため建

物-2においては、終局モーメントに達してしまっている。また、上段ステアー取付部の最大応答曲げモーメントは、ダンパ無しの場合、建物-1では建物-2を上回っているが、ダンパ有りでは、その関係が反転している。このことより、建物の振動特性とタワークレーンの振動特性の両者を考慮してダンパの設計を行う必要があることが分かった。

建物-3は、建物を剛体とした場合の実験であるが、建物が地震によって振動することによって、タワークレーン各部の応力が著しく大きくなることが分かった。

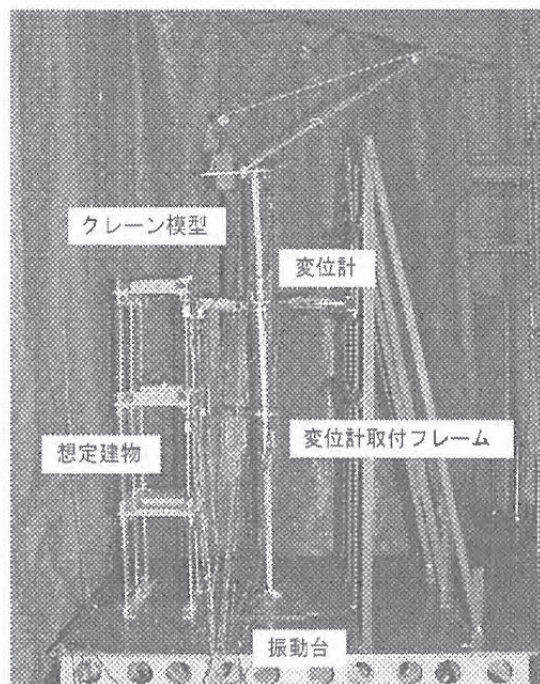


写真1 タワークレーンの縮小模型

表1 振動台実験一覧

建物	建物-1 (60m)	建物-2 (80m)	建物-3 (剛体)
ダンパ有り	○	○	×
ダンパ無し	○	○	○

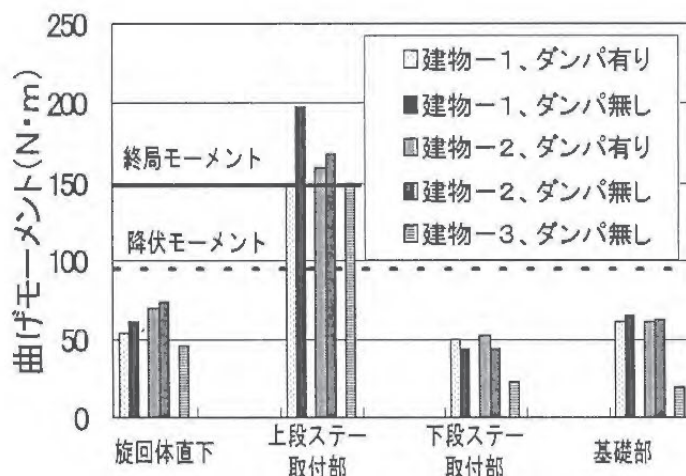


図1 最大曲げモーメント

# 移動式クレーン模型による転倒シミュレーション実験

建設安全研究部 玉手 聡, 堀井宣幸, 豊澤康男

## 1. はじめに

移動式クレーンが釣り荷作業をする際は、機体の四隅に備わるアウトリガーを張り出して機体を安定させる。しかしながら、アウトリガーが地盤にめり込むことに起因する転倒災害が多く発生している。そのためアウトリガーの沈下挙動とクレーン機体の不安定化を実験的に検証するための模型クレーンを開発し、遠心力載荷装置に搭載して転倒をシミュレートする実験を行った。本報告ではロームからなる一様な地盤とローム地盤の上部に固い表層が存在する2層地盤の2種類の地盤における転倒実験の結果を述べる。

## 2. 模型地盤の作製

実験に使用した土試料は関東ロームである。模型地盤は、土槽容器に最適含水比に調整したローム試料を147kPaで静的に圧縮して締め固めた一様地盤と一様地盤の表層に固結層を有する2層地盤を使用した。固結した表層はロームとセメントの混合試料によって再現した。その層厚(t)は1.5cm及び3.0cmであり、模型のアウトリガーフロートの直径(D)3cmに対して $t/D=0.5$ 及び1.0である。3ケースの実験の地盤層厚は15cmである。147kPaで締め固めた供試体の一軸圧縮強さ( $q_u$ )は、ロームが67kPaであるのに対してセメント混合土は598kPaであった。

## 3. 模型クレーンによる転倒シミュレーション

模型クレーンは釣り上げ能力が20トン級のホイールクレーンの約1/20スケールである。機体を地盤上に支持するアウトリガーは機体の4隅に20cmの間隔で配置し(アウトリガー張り出し幅)、アウトリガーフロートを介して接地圧を伝達する。この接地圧は20gの遠心力場において実機とほぼ同じレベルになる。荷を吊る腕の部分(ジブ)は100Wのサーボモータによって上下に可動できる。転倒はジブ起伏角を減少させることによって転倒モーメントを増加させて再現する。遠心装置の回転によって発生する風が模型に与える影響を防止するために、アクリル製の風防を土槽上部に取り付けて実験を行う。転倒実験はまずクレーン機体の作業条件(アウトリガーの張り出し幅、ジブ長等)を決定し、静的に吊ることができるジブの限界起伏角(限界ジブ起伏角)とこの時の釣り荷の質量(安定限界荷重)の関係を調べる。次に4つのアウトリガーに作用する荷重が平衡となるまでジブ起伏角を増加させる。この状態を転倒開始前の模型の初期状態とし、一定の遠心力において、遠隔操作することによってジブ起伏

角を減少させて転倒モーメントを発生させ、クレーンが転倒に至る動態挙動とこの時のアウトリガーに作用する荷重と沈下の挙動を調べた。

## 4. 実験結果と考察

一様地盤と2層地盤について行った3ケースの実験結果を述べる。図1は模型クレーンが転倒に至るまでの沈下挙動を示す。上側の横軸に経過時間、下側はジブの起伏角を示す。図中に示す○印はジブ起伏角の減少開始時を示す。ジブ起伏角は初期状態である65度からほぼ一定速度で減少する。△印は転倒支点と反対側のアウトリガー接地荷重がゼロの時を示し、この時を仮想転倒と定義する。また、◎印はクレーンの転倒挙動の停止時を示す。実線で示す一様地盤におけるアウトリガーの沈下はジブ起伏角の減少とともに沈下が発生している。転倒時のめり込み量は7mmであり $s/D=0.35$ である。沈下速度は約0.2mm/secでほぼ一定である。転倒時のジブ起伏角は32度であり静的な限界ジブ起伏角30度に比べて2度大きく安定側である。しかしながら、アウトリガーのめり込みによる機体の傾斜を考慮して算出したジブと地盤の相対角度は30度であり、実験結果は静的転倒条件にほぼ一致する。一方、破線で示すCase2において、アウトリガーの沈下はジブ下降開始から約16秒後の52度付近から発生し、沈下中の最大速度は一様地盤のそれに比べて約22倍を示す。また、一点鎖線で示すCase3では約26秒後のジブ起伏角47度において急激に50mmの沈下を生じて転倒に至った。急激な沈下を示すCase3は19mmの沈下時点で転倒しており、この時のジブ起伏角は46.5度である。ジブと地盤の相対的な起伏角は41.1度あり、Case1の30度に比べて大きい。これはCase3が静的に安定な状態であるにもかかわらず転倒したことを意味する。Case3の転倒要因の一つとして、地盤の急激な沈下による動的な不安定化が考えられ、今後も引き続き研究を行う予定である。

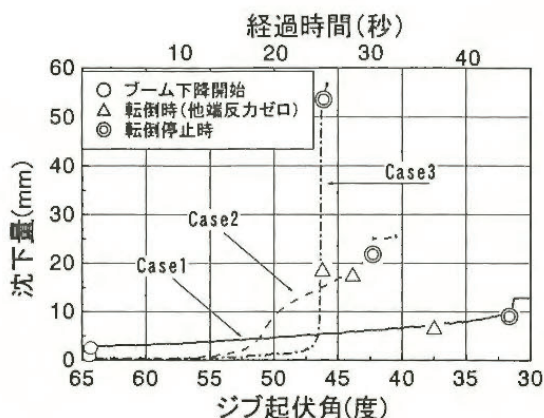


図1 ジブ起伏角減少(転倒モーメント増加)時のアウトリガーの沈下挙動

# 風による労働災害の傾向とその問題点の分析

建設安全研究部 日野泰道, 大嶋勝利

## 1. 研究目的

建設現場において風の影響で足場が倒壊する、あるいは資材等が飛来する等により、作業者のみならず、一般通行人を巻き込む災害等も発生しており、当研究所にも風に対する安全対策について、多くの問い合わせがある。本研究では、風の影響で発生した死亡災害および重大災害に着目し、災害の傾向とその問題点を整理することで、風による災害防止対策を構築するために必要な検討項目について明らかにすることを目的とした。

## 2. 風による労働災害の傾向

表1、表2に過去10年間（昭和63年～平成9年）における風による死亡災害または重大災害について「災害調査復命書」および「建設業安全衛生年鑑」における記載データを参考に各タイプ別に分類したものを示す。表1の死亡災害について見てみると、墜落によるものが最も多く29人（約56%）、ついで飛来落下による事故で12人（約23%）である。このうち墜落災害について見てみると、被災者が直接風を受けて墜落するケースは10名（風による墜落災害の約1/3）であるのに対し、その他の2/3は被災者が物を介して力あるいは振動を受けることにより発生していることが分かる。このことは、風に対する作業者の安全性は、単独で風を受ける場合のみならず、資材や作業台の影響を考慮して評価する必要があることを示している。一方、表2の重大災害について見てみると、死亡災害の場合とは傾向が異なり、構造物の倒壊による災害が多いことが分かる。これら倒壊災害は、組立・解体作業中に発生する割合が高いようである。

## 3. 風に対する安全対策の現状とその問題点

安全衛生規則では、風に対する安全対策として、建設作業現場において10分間の平均風速で10m/secを生じた場合、作業を中断することが規定されている。しかしながら、上記災害の発生現場周辺で得られた観測結果を参考にすると、これらの災害は、平均風速10m/sec以下の作業環境で災害が発生したケースが多く見られた。これらの風速レベルは、正確には災害発生現場における災害発生当時の風速レベルとは言えないため、単純に災害と関係付けることはできないが、作業中断の判断基準である10分間の平均風速10m/secと作業の安全性の関係が明確にされていないこと、および災害発生現場における風速レベルが不明である現状を

考えると、建設作業現場における作業中断のための適切な判断基準、およびその判断材料となる風速レベルの情報入手方法について検討を行う必要がある。また仮設足場に対しては、「風荷重に対する足場の安全技術指針」において倒壊防止のための検討方法が示されているものの、組立・解体途中の仮設足場の耐風安全性については、その確認方法が確立されていないのが現状である。実際の災害事例においても、設計風速以下で仮設足場が倒壊したケースが見られた。このことから、組立・解体途中を含めた仮設構造物の耐風安全性について検討を行う必要がある。

## 4. まとめ

以上のことから、風による災害防止対策を構築するためには、特に①資材や作業床の影響を考慮した作業の安全性、②建設現場における風速レベルの情報入手方法、③組立・解体途中を含めた仮設構造物の耐風安全性の評価手法、について検討を行う必要があると考えられる。

表1. 風による災害原因のタイプと死亡者数

災害のタイプとその内容	人数
☆墜落災害タイプ	29
風を受けた作業者がバランスを失い、墜落	10
風を受けた足場等が動いたことにより、作業者がバランスを失い、墜落	5
運搬中の資材に風が作用（受風面積の増大）し作業者がバランスを失い、墜落	9
風を受けたことにより物が落下し、それが作業者に当たったため、作業者が墜落	5
☆飛来・落下災害のタイプ	12
風によりクレーン等で吊っていた物が、作業者へ落下	3
風により飛ばされた物が作業者に衝突・落下	9
☆倒壊災害タイプ	9
風によりプレハブが倒壊	2
風により型枠支保工が倒壊	6
風により建設中の建物が倒壊	1
☆その他のタイプ	2

表2. 風による重大災害原因のタイプと発生件数

災害のタイプとその内容	人数
☆倒壊災害タイプ	9 (6)
風により建設中の建物が倒壊	3 (3)
風によりプレハブが倒壊	2 (0)
風により足場が倒壊	4 (3)
☆飛来・落下災害のタイプ	1 (0)
風により資材が飛来・落下	1 (0)
☆その他のタイプ	1 (0)

\*件数の( )内は、組立・解体作業中の災害件数を示す。

## 二段式アンカー土止めの変形・崩壊挙動

建設安全研究部 豊澤康男, 堀井宣幸, 玉手 聡

### 1. 研究目的

掘削工事においてアンカーは広く利用されているがその変形・崩壊のメカニズムの研究は必ずしも多くない。本研究では、二段式アンカー土止めについて掘削工事の過程を遠心模型実験により再現し、地盤変形・崩壊の発生メカニズムに関する知見を得ることを目的とした。

### 2. 実験概要

実験で用いた試料容器の内寸は幅 450mm, 高さ 272mm, 奥行き 100mm である。模型矢板には幅 99mm, 高さ 200mm, 厚さ 2mm のアルミ板を使用した。試験試料には NSFカオリン (IP 24.5) を使用し、最終圧密荷重 147.1kPa (1.5kgf/cm<sup>2</sup>) で一次元圧密した。矢板を地盤に挿入した後、アンカーを 30度の角度で 2本又は 4本平行に設置し、アンカー端部をロードセルに繋ぎ、初期張力を 1kgf 与えた。この模型地盤を遠心力載荷装置に搭載し遠心加速度を 50G に保った状態でスクリーオーガ式掘削装置を用い受働側を 4cm ずつ掘削した。表 1 に実験条件及び崩壊状況を示す。

### 3. 実験結果及び考察

全ての実験において、矢板のひずみは、掘削が進むにつれ増加したが、下部アンカーヘッドの位置が地表面から 60mm にある Case 4 と Case 5 で他のケースより矢板のひずみが少なく、また、変形・崩壊時にかけてひずみの値が正から負へ逆転した。下部アンカーにかかる張力の増加と対応しており、アンカーが効力を発揮するにはアンカーヘッドの位置が重要であると推察できる。

一段式アンカー、二段式アンカーとも掘削が進んでもアンカーにかかる張力の合計はほとんど変化しなかった。これは掘削による地盤の主働化によって側圧が減少することと掘削によるアンカーへの負担が増加することがほぼ相殺されている結果だと考えられる。その後、地盤の変形・崩壊時に、二段式アンカーでは上部アンカーの張力は減少し、同時に下部アンカーの張

力が増加する傾向が見られた。特にその傾向は Case 4 で顕著であり、下部アンカーにかかる張力は掘削前と比較し倍増した。

図 1 に Case 4, Case 6 における主働側地盤に設置したターゲットの変位ベクトルを示す。変形・崩壊は掘削側への沈下を伴い発生するが、この変位によってアンカーヘッド部も下方へ変位するため、アンカーによる拘束力が低下し、地盤変形がさらに進む結果となったと思われる。Case 4 の地盤は全体として楔形が回転して変位している。これに対し Case 6 では、すべり線がほぼ直線に発生している。Case 4 ではアンカーヘッドの位置が下部にあるため、このアンカーの拘束効果によって、回転が生じたものと考えられる。アンカーヘッドの位置が地盤変位・崩壊形状に影響していると推察される。

### 4. まとめ

(1) 地盤の変形時に土止めが沈下する場合は、アンカーによる拘束力が低下し、地盤変形が進み崩壊につながる恐れがある。このような場合において、設計を越えて掘削するとアンカー取付け位置や段数に拘わらず崩壊の危険性が生じる。

(2) アンカー張力と矢板のひずみの変化は崩壊部楔形の形状・変位状況と対応し、二段式アンカー土止めでは、変形・崩壊時に上部に比べて下部のアンカーにかかる張力が急増する傾向がみられた。変形が進み、下部アンカーに荷重が集中すると下部アンカーの破壊から全体の崩壊に繋がる危険性がある。

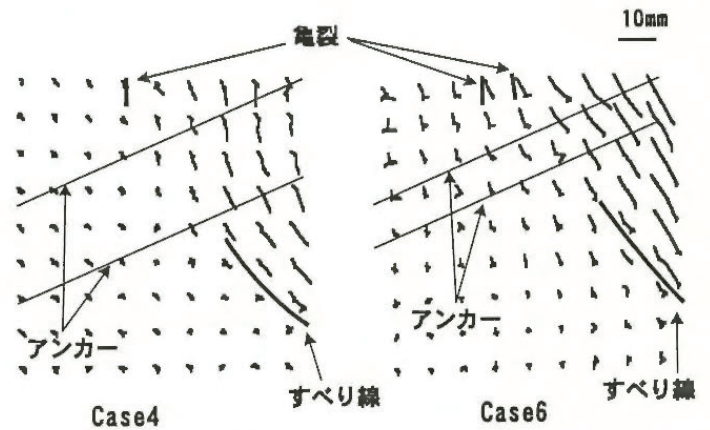


図 1 変位ベクトル図

表 1 実験条件及び崩壊状況

Case	模型地盤	含水比	地盤高(mm)	アンカーヘッド位置	初期地盤高低差	崩壊形状等
1	一段式アンカー	46.4	165	地盤表面から 0mm	なし	130mm まで掘削したが、崩壊せず。
2	一段式アンカー	23.6	180	地盤表面から 0mm	なし	遠心加速度 50G で一時間載荷した後、140mm まで掘削。矢板下端部にすべり線が発生したが崩壊せず。
3	二段式アンカー	49.8	180	地盤表面から 0mm と 30mm	30mm	140mm まで掘削。70度のすべり線で崩壊
4	二段式アンカー	49.1	180	地盤表面から 0mm と 60mm	60mm	140mm まで掘削。65度のすべり線で崩壊
5	二段式アンカー	47.7	180	地盤表面から 30mm と 60mm	60mm	140mm まで掘削。60度のすべり線で崩壊
6	二段式アンカー	48.6	180	地盤表面から 0mm と 30mm	60mm	140mm まで掘削。65度のすべり線で崩壊

# 掘削溝に設置したエア封入袋体に関する土止め効果の遠心模型実験による検証

建設安全研究部 豊澤康男, 堀井宣幸, 玉手 聡  
新日本製鐵(株) 山田知裕, 羽上田裕章

## 1. 研究目的

軽量の袋体を吊り降ろし、空気圧で膨張させることにより掘削壁面を押さえる簡易土止め（トレンチバック）工法は、従来の土止め工に比べ施工の省力化が期待できる。しかしながら、この方式の土止めについては研究成果が少なく、地盤崩壊防止メカニズムは十分には解明されていない状況である。そこで本研究では、エア封入袋体による地盤崩壊防止効果のメカニズムを明らかにすることを目的として遠心模型実験を行った。本研究は、当研究所と当該工法を開発した新日本製鐵(株)との共同研究として行われたものである。

## 2. 試験概要

試験は、当研究所の遠心力载荷試験装置を用いて行った。模型地盤としては、カオリン粘土と中間土（カオリン粘土：豊浦標準砂＝1：2 [重量比]）をそれぞれ異なる先行圧密圧力（粘土：0.10, 0.13, 0.16MPa, 中間土：0.13, 0.16, 0.19MPa）で一次元圧密を施した計6種を準備した。この地盤の左右に高さ125mm×幅50mmの掘削溝（遠心加速度20G時の換算掘削高さ2.5m, 幅1.0m）を成形した後、左側の溝に高さ50mm×幅50mmの袋体（遠心加速度20G時の換算袋体高さ1.0m）を設置した。右側の掘削溝は、土止めを設けない素掘状態とした。遠心加速度を徐々に上昇させるとともに、袋体内圧を遠心加速度20G時に0.02MPaとなるように徐々に上昇させる方法で実験を行った。また、遠心加速度が20Gに達した後は、袋体内圧を0.02MPaにとどめた状態で左右両側の掘削溝が崩壊するまで遠心加速度を上昇させた。

## 3. 試験結果及び考察

粘土地盤及び中間土地盤の試験における先行圧密圧力、含水比を表1及び表2に示す。また、掘削壁面下部にすべり線が発生した時の加速度、すべり線が地表面に達した時の加速度を図1及びクラック発生時の加速度を図2に示す。粘土地盤では、遠心加速度の上昇に伴って、まず掘削壁面

下部にすべり線が発生し、それが地表面に向かって進展し、ついには地表面に小さなクラックが発生すると同時に地盤が滑り出す過程を辿って崩壊した。袋体を設置した場合は設置しない場合に比べ、崩壊時の加速度が4割程度大きい結果を得た。

中間土地盤では、素掘状態の掘削溝では地表面にクラックが発生すると同時にすべり線が発生し地盤の崩壊に至った（写真1参照）。袋体を設置した溝では、まず袋体下部の溝壁面がはげ落ち、次いで地表面にクラックが発生して崩壊に至った。袋体を設置した場合は、設置しない場合に比べ、崩壊時の遠心加速度が6割程度大きい結果を得た。

掘削溝のような鉛直な掘削面を有する地盤では、亀裂、クラック等の不連続箇所の発生やひずみの発達が増長する。エア封入袋体は比較的土圧の少ない浅い掘削壁面を保持することにより、亀裂等の発生を抑制し、掘削壁面が内側へ倒れ込むのを防止し地盤内のひずみを押さえる効果があると認められた。この効果によって掘削地盤を保持しているものと考えられる。

なお、本工法は掘削後も自立する掘削溝に適用されるものであり、エア封入袋体にかかる空気圧以上の土圧が負荷する状態において作業者が溝内に入る場合は地盤に応じた強固な土止めを設置する必要がある。

## 4. まとめ

(1) エア封入袋体を設置した場合は、設置しない掘削溝に比べ、粘土地盤、中間土地盤の2種地盤ともに崩壊時の遠心加速度が大きく、エア封入袋体の設置による土止め効果が大きいことが確認できた。

(2) エア封入袋体は、亀裂等の発生を抑制し、掘削壁面が内側へ倒れ込むのを防止し、ひずみを押さえる効果があると認められた。

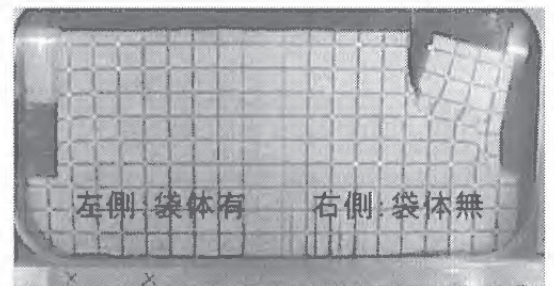


写真1 試験時の地盤状況(中間土地盤, 地盤強度中)

表1 粘土地盤を対象とした試験諸値

地盤強度	弱	中	強
先行圧密圧力 (MPa)	0.098	0.127	0.157
含水比 (%)	52.56	47.58	45.35

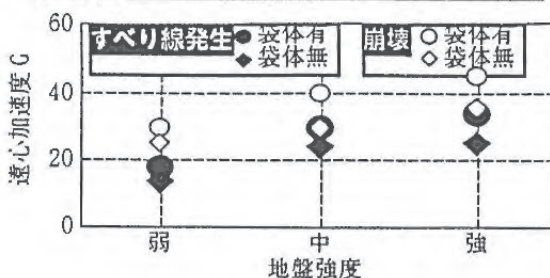


図1 粘土地盤の試験結果

表2 中間土地盤を対象とした試験諸値

地盤強度	弱	中	強
先行圧密圧力 (MPa)	0.127	0.157	0.186
含水比 (%)	20.64	20.00	19.75

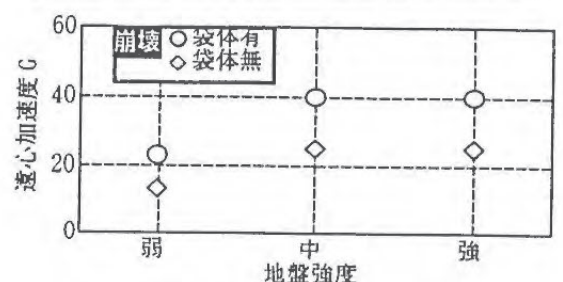


図2 中間土地盤の試験結果

# 造成工事における地盤災害防止のための深層混合処理工法に関する研究

建設安全研究部 堀井宣幸, 豊澤康男, 玉手 聡  
(株)ジオデザイン 橋爪秀夫

## 1. はじめに

盛土築造に伴うすべりや大変形を防止する方法の一つに深層混合処理工法による地盤改良がある。本研究では、混合処理工法による地盤補強のメカニズムを解明するための遠心模型実験を実施した。また、有限要素法による数値解析を行い、実験結果の妥当性を検討した。本報告では、有限要素法による数値解析について報告する。

## 2. 弾塑性有限要素法

解析プログラムはPlaxisを用いた。のり肩改良地盤の解析に用いたメッシュを図1に示す。入力定数を表1, 2に示す。粘着力  $c$  は式(1)を利用して算出した。

$$C_u = 13.40 + 2.057z \quad (1)$$

$C_u$ : 非排水せん断強度 (KN/m<sup>2</sup>)

$z$ : 深さ (m)

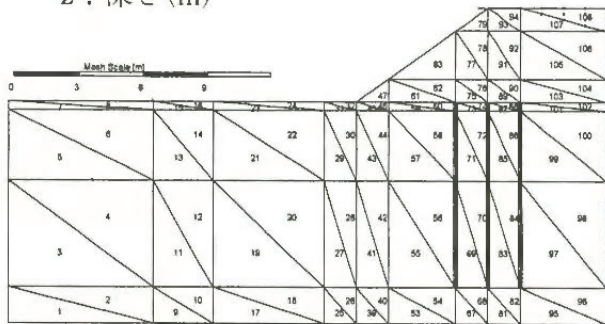


図1 解析メッシュ

表1 入力定数 (\*は推定値)

	$\gamma t$ (kN/m <sup>3</sup> )	$Nu^*$	$G^*$ (kN/m <sup>2</sup> )	$E^*$ (kN/m <sup>2</sup> )
盛土	19.18	0.3	3771	9805
表層	19.25	0.3	2640	6864
粘土地盤2	16.24	0.495	169	506
粘土地盤1	16.24	0.495	256	765
支持層	19.25	0.3	6034	15688

表2 入力定数 (\*は推定値)

	$\gamma t$ (kN/m <sup>3</sup> )	$Nu^*$	$G^*$ (kN/m <sup>2</sup> )	$E^*$ (kN/m <sup>2</sup> )
盛土	19.18	0.3	3771	9805
表層	19.25	0.3	2640	6864
粘土地盤2	16.24	0.495	169	506
粘土地盤1	16.24	0.495	256	765
支持層	19.25	0.3	6034	15688

ただし、  
 $Nu$ : ポアソン比,  $G$ : せん断剛性,  $E$ : ヤング率

改良体は弾塑性ビーム要素とし、EIおよびEAは単位奥行きあたりに換算している。

$$EI = E_0 \cdot I_0 \cdot n = 1837 \text{ (kN} \cdot \text{m}^2 / \text{m)}$$

$$EA = E_0 \cdot A_0 \cdot n = 37716 \text{ (kN / m)}$$

$$M_p = pl/4 = 494.22 \text{ (kN} \cdot \text{m} / \text{m)}$$

$E_0$ : 改良体の弾性係数 (kN/m<sup>2</sup>)

$n$ : 改良体の個数 (本/m)

$I_0$ : 改良体の断面二次モーメント (m<sup>4</sup>)

$A_0$ : 改良体の断面積 (m<sup>2</sup>)

$l$ : 改良体長さ (m)

## 3. 解析結果

図2, 3に各ケースの地表面における鉛直および水平変位のFEM結果を示した。鉛直変位をみると、のり尻20度改良は無改良と類似した結果となり、改良効果はあまり認められない。のり尻改良およびのり肩改良では、改良体設置位置のみ変形を抑制しているが、それ以外の箇所では無改良と類似した傾向を示した。鉛直変位からは、のり肩20度改良が最も改良効果がある結果となった。水平変位では、のり肩20度改良が最も変形を抑制していた。

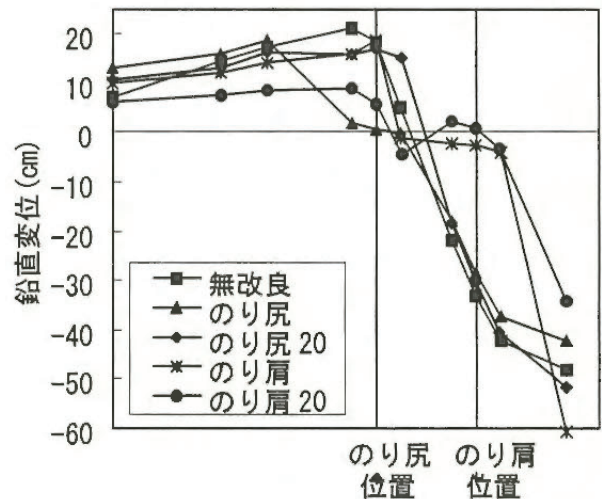


図2 地表面鉛直変位

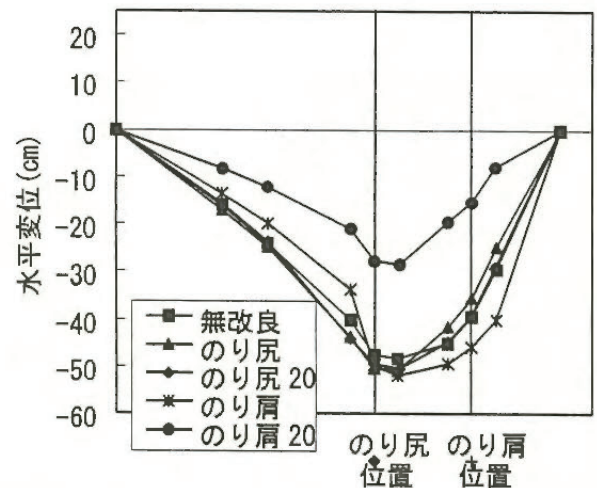


図3 地表面水平変位

# 土石流荷重と流下速度に及ぼす粒径の影響について

建設安全研究部 堀井宣幸, 豊澤康男, 玉手 聡  
(株)ジオデザイン 橋爪秀夫

## 1. はじめに

日本は急峻な地形が多く、土石流が発生する危険性の高い流域が数多く存在する。土石流の流下特性については未解明な部分も多いため、現状では、建設現場の安全を確保するための仮設的な砂防ダムのような対策工の設計法等については確立されていない。本研究は、土石流災害対策工法を開発するための資料を得ることを目的に、土石流の流下特性を解明するために遠心模型実験を実施し、土石流抑止構造物の剛性が土石流荷重に与える影響について検討したので報告する。

## 2. 実験概要

実験装置は試料タンクおよび土槽から構成され、タンクの底蓋は遠隔操作で開放できる機構となっている(図1参照)。土槽内部には、斜面を模擬したV字谷流路、土石流が衝突する受圧板、流速測定用レーザー変位計(2個, 20cm間隔)が設置されている。受圧板は3枚に分割されており、各受圧板背面には、ロードセル, ばね, 土槽外部に貫通した受圧板変位ターゲットを取り付けている。また、土槽外部には、受圧板1枚ごとに受圧板変位測定用レーザー変位計(3個)を設置している。試料は、水, 砂, 礫を用い、砂は豊浦砂, 礫の粒径は $\phi 20 \sim 25\text{mm}$ と $\phi 10 \sim 15\text{mm}$ , 粒子密度は砂, 礫ともに約 $2.65\text{g/cm}^3$ である。試料配合は、水+礫( $\phi 20 \sim 25$ ) [case 1], 水+礫( $\phi 10 \sim 15$ ) [case 2], 水+砂 [case 3], 水のみ [case 4] の4種類とし、各3kgずつの合計重量6kgとした。砂および礫が含まれる試料配合の平均密度は約 $1.45\text{g/cm}^3$ である。図1に示した装置を遠心載荷装置に搭載し、上部試料タンクにつめられた混合試料を遠心加速度50Gに達した時点で下部流路に流下させた。土石流速度は、V字流路上

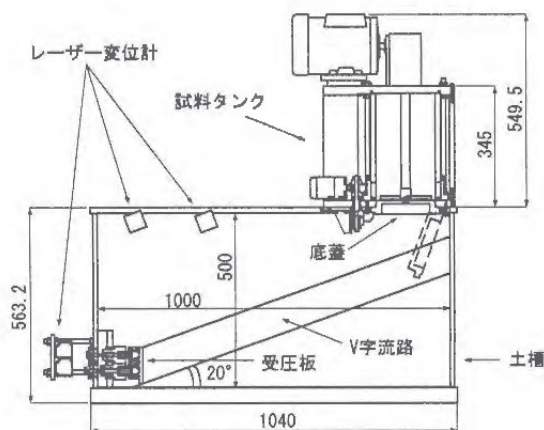


図1 実験装置

のレーザー変位計で2点間を通過した土石流試料の時間差を計測することにより求めた。土石流の衝撃荷重は各受圧板部に設置されたロードセルで、受圧板部の変位は土槽外に設置されたレーザー変位計により測定した。

## 3. 実験結果および考察

図2に各試料配合条件での流速の関係を示した。各試料配合条件で比較すると、流速の速い順に、水のみ(case 4), 水+砂(case 3), 水+礫(case 1, 2)となった。この理由は、水に砂や礫が含まれる場合、流下中に砂および礫粒子同士間, あるいは砂および礫粒子とV字流路との間の摩擦によって流速が低減されたのではないかと考えられる。また流速は、粒子径が大きくなると遅くなる傾向にあることがわかった。図3に粒径と最大衝撃応力の関係を示した。粒径は平均粒径とし、最大衝撃応力とは、各々3個のロードセルの時刻歴中で最大となった値を各々の受圧板面積で除した値とした。また、各実験の最大衝撃応力の平均値を×印で示した。この図から、case 1, 2に比べてcase 3の流速が速いにもかかわらず、土石流に含まれる粒径が大きいほど大きな衝撃応力を発生することがわかる。また、粒径に対する最大衝撃応力の平均値は、砂, 礫 $\phi 10 \sim 15$ , 礫 $\phi 20 \sim 25$ の順で大きくなっている。このことから、衝撃応力は土石流を構成する混入物の粒径に大きく影響されることが考えられる。

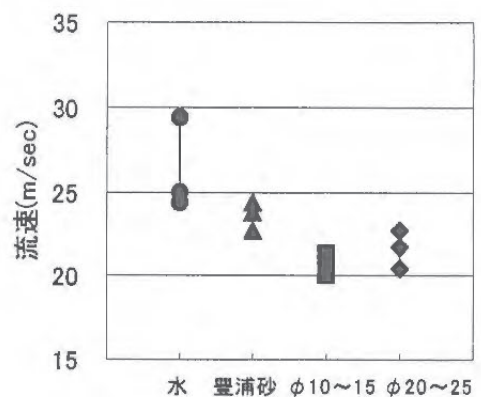


図2 実験ケースと流速

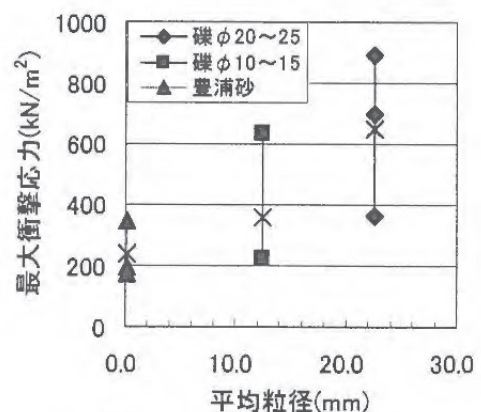


図3 粒径と衝撃応力

# すべりの時間経過パターンを考慮したすべり評価法に関する基礎的な研究

建設安全研究部 永田久雄, 李 善永

## 1. はじめに

転倒・転落事故のトリガー要因は、「すべり」、「つまずき」、「踏み外し」による身体バランス失調である。その中でも、「すべり」を原因とした事故は多くを占めている。すべりにより転倒するかどうかは、「床材」、「床表面状態」、「鞋底」、「歩行速度」、「歩き方」、「身体能力」、「体重」などの複合要因により総合的に決定される。しかし、ここでは、すべり発生直後の足の動きに着目し、足の動きがすべり評価の要素となるかを検討した。そこで、本研究では、すべり発生後にバランスを失って倒れる状態を再現して、その状態での足の移動速度パターンについて検討した。

## 2. 実験方法

すべり発生時の踵部の速度を実験的に明らかにするために、ステンレス板にテフロン加工したすべり歩行路を製作した。すべり面上にゴム製マットを敷き、すべりが発生しない状態での踵部の速度についても計測した。

実験で検討した歩き方は以下の3種である。

- I) 水平またぎ (被験者ごとに設定 37~65 cm)
- II) 障害物またぎ (高さ 20 cm、奥行き 20 cm)
- III) 段からの降り (高さ 18 cm)

すべり歩行路の2歩手前 (ゴム製の床表面材 約 120 cm) から歩行を開始した。高齢者 (平均 66 歳) 5 名、若年者 (平均 22 歳) 5 名により実験を行った。すべり実験では、被験者全員に木綿の靴下を使用させ、よりすべりやすい状態にした。

写真 1 に示すように被験者がすべりによりバランスを失って転倒するのを防ぐために、吊り下げ式の転倒防止装置 (安全帯) を使用した。すべり発生時の足の動きは、ひも牽引式の数値計、光点位置計測装置、高速度ビデオカメラによって計測、観察した。光点位置計測装置は追従性が悪く、すべり発生直後の速度を計測できないため、改造を施したひも牽引式速度計によって踵部の速度を得た。

ひもの牽引力による歩行への影響を出来る限り取り除くため、被験者が歩行に慣れるまですべりのない通常の床を歩行させた。すべりが発生する歩行実験では、心理的要因 (すべることに対する無意識の恐怖) によって歩幅が狭くなるために、畳材 (340 mm × 480 mm × 7 mm) を使用し、その上に足を乗せるようにした。



写真 1 すべり実験の様子

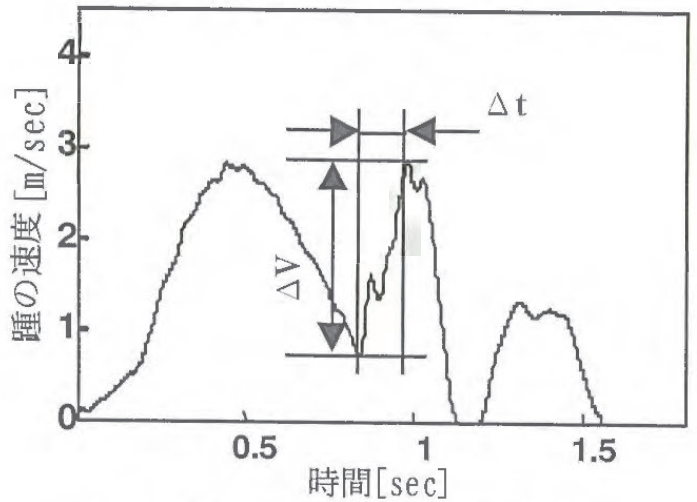


図 1 転倒時の踵部のすべり加速度 ( $V/t$ )

## 3. 実験結果

すべりによって転倒する際の足の動きは、歩行によって若干、異なる。図 1 は「段からの降り」の時の踵速度の典型的な変動パターンである。踵が離床してから床に着地し、滑る状況を図示したものである。

すべりが発生開始から最大速度に達するまでの時間と立ち上がりピーク速度は、図 1 に示すようにほぼ直線的に上昇する。このことから、すべり発生時の加速度はほぼ一定であると見なせる。

各歩行条件において、転倒する際のすべり時間とすべり加速度の関係を見ると、すべり時間が短い時は、すべり加速度が大きく、すべり距離が短い。一方、すべり時間が長い時は、すべり加速度が小さく、すべり距離が長いことが判明した。また、その全体的傾向から判断して、すべり時間とすべり加速度、すべり距離には関連性があると思われる。

本実験結果から、転倒を引き起こす「すべり」を、すべり発生直後のすべり速度のピークまでの加速度、持続時間、すべり距離によって統一的に論じる可能性を見出すことができた。



建設安全研究部 永田久雄, 李 善永

### 1. はじめに

筆者らは、今までに労働力の高齢化に対応した労働環境づくりに関して全職種を対象に意識調査を実施した。本報では、社会的関心が高く、かつ、将来的に労働力のニーズが高い介護労働を取り上げ、痴呆・麻痺老人など重度の要介護者を収容する特別養護老人ホームにおける介護労働に関する調査を実施した。本調査の目的は施設での介護労働の実態と将来の高齢労働者による介護労働の問題点を把握することにある。

「介護者の雇用管理の改善等に関する法律」が平成4年に公布され、平成9年に、「介護雇用管理改善計画」が労働省より告示され、介護労働に従事する労働者の確保のための施策を国レベルで実施している。その中で将来の高齢者人口の増加に伴い高齢者を介護力として受け入れる重要性を述べている。本報では、老人福祉施設の中でも中心的な役割を演じてきた特別養護老人ホームを取り上げて、現在の介護労働の実態を調査し、これからの特別養護老人ホームにおける60歳以上の労働者による高齢介護労働について検討した。

### 2. 調査方法

特別養護老人ホームの各施設長宛に、調査票1通を送付した。回答者の選定にあたっては、施設長に依頼し、回答者は雇用形態（再雇用、継続雇用）にかかわらず、介護労働に実際に従事している熟練した年長の寮母（寮父）1名とした。また、個々の回答結果は、回答者から直接、返送するように依頼した。

調査は、平成11年3月18日～31日にかけて行い、地域的片寄りがないように配慮して、『全国老人福祉施設要覧』（厚生省老人保健福祉局監修）に記載されている特別養護老人ホーム（3,976ヶ所）から2,000ヶ所を無作為に抽出した。その結果、全国の特別養護老人ホームから969票（回収率48.5%）を回収することができた。

### 3. 調査結果と考察

2000年4月より公的介護保険が導入され、特別養護老人ホームは老人福祉法に基づく「老人福祉施設」から介護保険法に基づく「介護老人福祉施設」に位置づけられなおし、従来の市町村の決定に基づく施設への措置入所から、原則的には利用者の自由選択による施設との契約に基づく入所となった。

現在までの特別養護老人ホームの入所者をもつても、高齢化、重度化、痴呆性老人の占める割合が増加している。新たな介護制度の下では、従来の施設の役割が

特化して、今より更に要介護者の障害の重度化・高齢化が進むと考えられている。重度の障害者が入所している施設ほど、介護職員の作業量が増えると報告されている。また、介護保険導入後は施設経営上から経済性、効率性が重視され、そのしわ寄せが介護労働者に過重な負担となることも十分に予測される。これからの介護老人福祉施設での介護労働の本質的な課題が含まれている。

調査結果から、50歳以上の介護者がいない職場が2割、60歳以上では7割にも及ぶ。60歳以上の介護者がいる場合でも、ほとんどの施設が4人以下である。介護労働の限界年齢についてみると、「65歳まで」と回答したのは僅か7%ほど、「70歳まで」は1%以下である。40歳代の回答者（286人）に限定しても、「65歳まで」は僅か3.1%である。筆者らが行った全職種を対象にした調査結果によれば、40歳代労働者（調査人数429人）が、「65歳まで」と回答したのは約4割と比較的高く、また、「70歳まで」、「75歳まで」、「健康ならばいつまでも」の合計値を合わせると約2割となった。40歳代介護労働者の回答結果11.6%と比較してみても、高度な有意差が見られる（ $\chi^2(6)=431.8; p<0.01$ ）。明らかに、介護現場での労働限界年齢は一般的傾向と異なって低いのである。

調査結果から、「時間的ゆとりがない」、「職員不足」などのために、介護者として自立支援介護や1対1の対応を実践できない状況が伝わってくる。介護労働の中でも、移乗介護、入浴介護、痴呆老人介護で労働負担が大きい。その中でも、入浴介護がもっとも大きい。しかし、60歳以上の高齢者と若年者が共に行う介護作業上の問題点で、約3割は「特に問題ない」と回答していることから、現在でも高齢介護労働の可能性が全くないわけではない。つまり、なにかしらの配慮、例えば、建築的改善（スペースなど）、介護支援機器（ギャッチベッド、リフター、浴室機械設備、徘徊位置検出器など）、ワークロードの軽減（作業量、勤務時間、適正配置）を行うことにより、高齢介護者の活動範囲が広がると思われる。

日本の高齢者の勤労意欲は非常に高く、その勤労意欲を活用できる介護現場づくりが求められる。労働環境づくりのためには現場情報のフィードバックを行い、管理者側との情報の共有化を進めるためのシステムづくりが最も必要である。

本研究は、科学技術庁科学技術振興調整費の生活基盤研究に属する「高齢社会における製品・環境などのユニバーサル化に関する研究」の一部として実施した。本調査結果の詳細については、平成11年度の安研報告書を参照されたい。

1. はじめに

本研究では化学設備におけるガス爆発の抑制を目的とし、消火剤高速噴霧式の火炎抑止装置の開発を行っている。このガス爆発駆動式では、消火剤を噴出するための駆動圧力として、予め高压ガスを容器に充填しておくのではなく、予混合気を燃焼容器に入れておき、人為的に燃焼をさせることで圧力上昇を得、急速に高压ガスを生成し、それを噴射圧並びに消火剤として利用するというものである。

2. 試作項目

前年度までは、水を消火剤とし、メタン-空気やプロパン-空気予混合気ば火炎を対象に消炎限界を定量的に調べた。また、ノズル噴霧による問題点の抽出を行い、効果的に水噴霧できる方法を検討した。本抑制装置の仕様などは割愛するが、図1は、開発する抑止装置の概要を示したものである。以下の4項目について実験と試作を行った。

- ①噴霧駆動用燃焼管
- ②噴霧ノズル
- ③高速作動弁
- ④初期火炎検知センサ

密閉あるいは半密閉のダクトあるいは容器内において何らかの原因で予混合気が発生し発火が起こり、火炎が伝ばすると、装置内部の圧力が上昇しガス爆発に至る。そこで、火炎をごく短時間で検知し、所定の位置で消火剤を使い消炎させることで爆発抑制が達成できる。

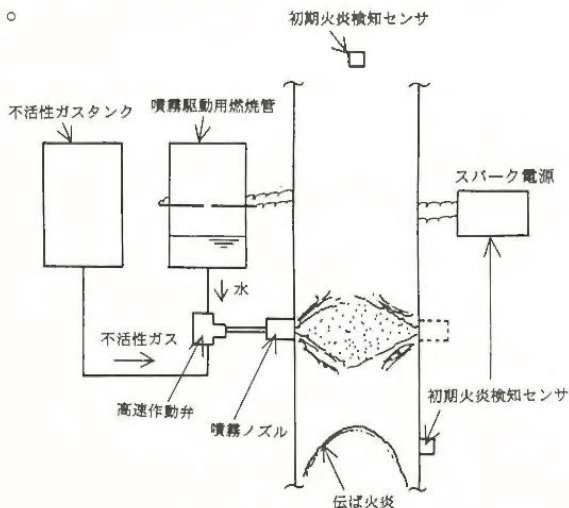


図1 装置概要

3. 噴霧駆動用燃焼管

昨年度の研究では、円筒形で寸法が異なる二つの燃焼管を用い、メタン-空気あるいは水素-空気予混合気を充填した場合の燃焼に伴う圧力上昇を調べた。その結果、水素-空気では、圧力上昇速度が大きく、圧

力最大値に達するとすぐに圧力が減少するので、噴霧できるだけの高い駆動圧力を保持するのが難しいことがわかった。今回は、プロパンを燃料気体とし、初期圧力と点火位置の違いによる着火からの圧力変化を調べた。

図2は、初期圧力 $P_i$ に対して、設計条件となる0.78 MPa以上の圧力を維持している時間 $\Delta t_{0.78}$ を示したものである。高い圧力を持続する時間は、初期圧力と燃料気体に依存することがわかる。

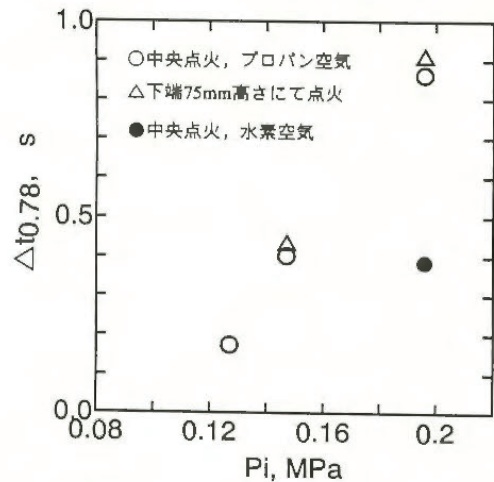


図2 初期圧力と燃焼圧力0.78MPa以上を維持する時間の関係

4. 初期火炎検知センサ

炭化水素系燃料気体の火炎からは紫外線が発生するが、その領域からの光にだけ感度を有するセンサを利用すると、太陽光、電灯光に関係なく火炎を検知できる。図3は、紫外線検知センサに、受光に対してON/OFFのTTLレベルのパルス信号を出力する回路を作り、火炎検知を行った実験結果である。これは、伝ばする火炎に相対するように、ダクト出口側に点火位置から2 m離れたところにセンサを取り付け、火炎が近づいてくる際の出力を示したものである(図1参照)。このセンサは、当量比が1.0の火炎だけでなく、当量比が0.7の希薄な火炎に対しても十分な感度と応答性で検知できることがわかる。

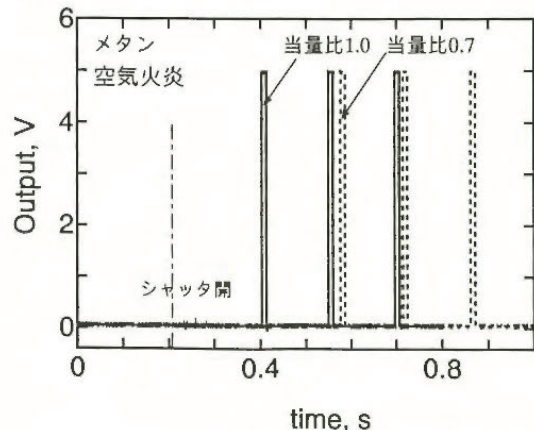


図3 紫外線検知センサの出力例

1. はじめに

最近の国内における粉じん爆発事故災害を見ると、金属粉による災害事例が多くなっている。その多くは、アルミニウムやマグネシウムなどの軽金属であるが、新素材の開発とともにチタン、タンタルなど比較的比重の大きい金属粉による爆発も見られるようになってきた。比重の大きな粉の場合、浮遊した状態で発火するよりも地面に堆積した状態で発火し、その後粉じん爆発、火災に至ることが考えられる。

そこで本研究では、堆積した状態における燃焼危険特性を雰囲気条件（組成，気流速度）の違いとともに評価することを目的とし、第一段階として、いくつかの試料台を試作し、燃え拡がりの様相をビデオカメラを使って調べた。

2. 実験

2.1 試料台

本研究では、燃え拡がり速度に及ぼす試料台の違いを調べるために、次のような堆積方法による7種類の試料台を製作した。

①10mm厚の断熱板（セラミックファイバ）の上に1辺10mm，長さ150mmの三角柱状に成形した粉を堆積する。本研究では便宜上，試料台TA-10と略記する。従来から危険性評価に用いられている方法である。堆積粉の成形にはモールドを使う（②と③も同様）。

②①に対して，半径5.6mm，長さ150mmの半円柱状に成形した粉を堆積する。試料台CA-5.6と略記する。

③断熱板の上に2mm厚のステンレス板を載せ，1辺10mm，長さ150mmの三角柱状に成形した粉をその板に堆積させる。試料台TPA-10と略記する。

④図1に示したように，幅10mm，長さ160mm，深さの異なる溝付きの試料台に試料を平滑に堆積させる。深さ2, 3, 4, 8mmの4種類の試料台を用い，それぞれ試料台FPA-2, FPA-3, FPA-4, FPA-8と略記する。

2.2 試料及び実験方法

試料としては，チタン，ジルコニウムの合金であるジルカロイ-2を使用した。チタンは，粒径の異なる2種類のものを用いたが，粒径は，それぞれ目

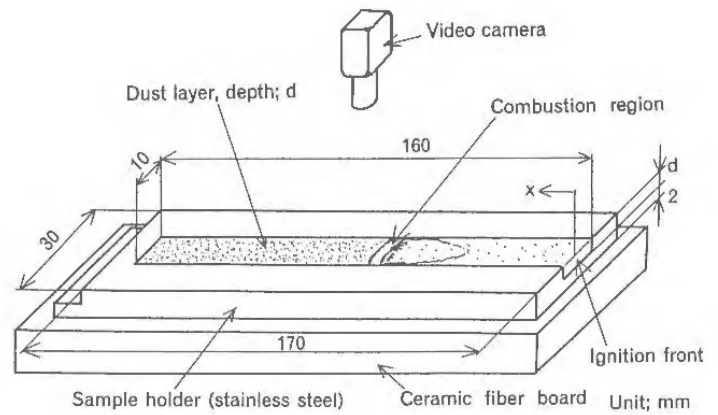


図1 試料台 (FPAシリーズ)

開き50 $\mu$ m通過（メディアン径 $D_{0.5} = 31\mu$ m），目開き50<100 $\mu$ m ( $D_{0.5} = 72\mu$ m)である。ジルカロイ-2（目開き<50 $\mu$ m）の $D_{0.5}$ は5 $\mu$ mである。

実験においては，試料台を水平に設置し，着火具（タングステン）により一端に点火し，他端に燃え拡がる様子をビデオカメラを同時に使って調べた。

3. 実験結果

粒径の異なるチタン，ジルカロイ-2を使い，堆積した金属粉表面に沿った燃え拡がりの様子を実験的に調べた。得られた結果は表1の通りである。

- ①平らに粉を堆積させた試料台を使った場合，試料厚さを2~8mmと変化させたが，燃え拡がり速度の厚さへの依存性は小さい。
- ②チタン粉（メジアン径31 $\mu$ m）の燃え拡がりにおける燃焼帯の厚さは0.7mm程度である。

表1 平均燃え拡がり速度

Sample holder	Upper: Spread rate (mm/s) Lower: [Bulk density, g/cm <sup>3</sup> ]		
	Ti <50 $\mu$ m	Ti 50<100 $\mu$ m	Zircaloy-2 (Zr alloy) <50 $\mu$ m
TA-10 (Triangular solid placed on Ceramic fiber board; adiabator)	9.4 [1.6]	3.3 [1.8]	—
CA-5.6 (Half-Cylinder, Ceramic fiber board)	7.7 [1.6]	—	—
TPA-10 (Triangular solid, Stainless plate, Ceramic fiber board)	11.9 [1.6]	—	—
FPA-2 (Flat, depth; d=2mm, Ceramic fiber board)	6.9 [1.6]	3.0 [1.7]	25.3 [2.0]
FPA-3 (Flat, d=3mm, Ceramic fiber board)	6.9 [1.8]	—	—
FPA-4 (Flat, d=4mm, Ceramic fiber board)	7.6 [1.7]	—	—
FPA-8 (Flat, d=8mm, Ceramic fiber board)	7.8 [1.5]	—	—

# 石松子粉じん火炎の伝ば挙動

化学安全研究部 韓 宇燮, 八島正明  
松田東栄, 松井英憲

## 1. はじめに

粉じん爆発を予防するためには、取り扱う可燃性粉じん物質の爆発特性を把握しておかなければならないが、爆発現象は粉じんを取り扱う装置の依存性が強く、それだけでは安全対策に限界がある。粉じん雲中の火炎がどのような機構で伝ばするかということを知ることが重要であり、その詳細機構が解明できれば、それに基づいて実際の装置における適切な安全対策を講じることが可能である。そこで、可燃性粒子群中における火炎伝ば挙動について研究を行った。前年度に続き、粒子径がほぼ均一な標準粉体である石松子 (32 $\mu$ m) を用い、垂直管中における火炎伝ば状況を各種の光学装置を使用して観察した。

## 2. 石松子粉じんの熱分析

加熱速度を変化させて、石松子の熱重量分析を行ったところ、図1に示す結果が得られた。それによると、加熱による重量減少は3段階に分けられるようである。最初の10%程度の減少は約250 $^{\circ}$ C以下で起き、約360 $^{\circ}$ Cで2段目の急激な減少で全量の約50%まで低下する。石松子の成分は脂肪油が約50%で、その内80%を油酸が占めるので、第1, 2段階で脂肪油がほぼ全量分解すると考えられる。第3段階は、被膜のキチン質物質等の熱分解に対応すると考えられる。図2は燃焼後の粒子の写真で、網目状球形の粒子が火炎中で1/3ほどに収縮することが分かる。

## 3. 火炎構造

図3は、粉じん濃度 (47g/m<sup>2</sup>) における火炎先端の高速写真の一駒で、微粒子の点状火炎とそれらが多数集まった球状凝集火炎からなる火炎構造を示す。凝集火炎を独立火炎と呼ぶことにして、時間的変化を追うと次のようになる。最初は球状の青炎として現れるが、次にはその球の中で多くの点状火炎が形成され、最終的にはそれらの多数の単一粒子火炎全体を含むような球全体が明るい火炎に至る。高速写真解析結果から、独立火炎の燃焼の様子は、石松子の熱重量変化によって放出される分解ガス成分の燃焼に対応していることが分かった。微粒子火炎は単一粒子の燃焼によるが、独立火炎は多数の粒子を含むため、それらの燃焼により主要な熱発生源ともなる。かくして、火炎先端で次々と独立火炎及び単一粒子火炎を形成して伝ばするが、なぜ独立火炎が出現するかは、不明である。

以上の観察は、燃焼下限濃度に近い粉じん濃度におけるものであり、粒子の熱分解特性に応じた燃焼挙動を示すことが明らかになった。

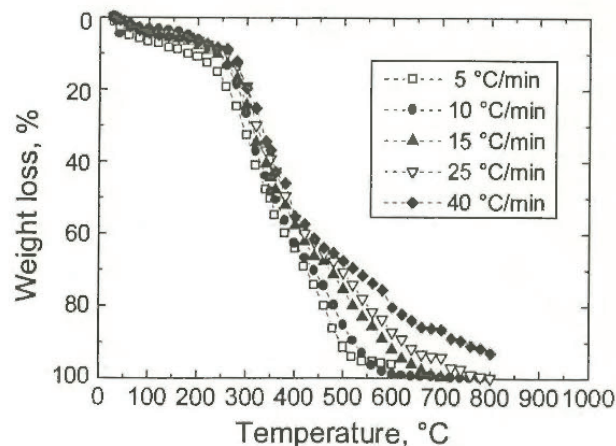


図1 石松子の重量熱分析結果

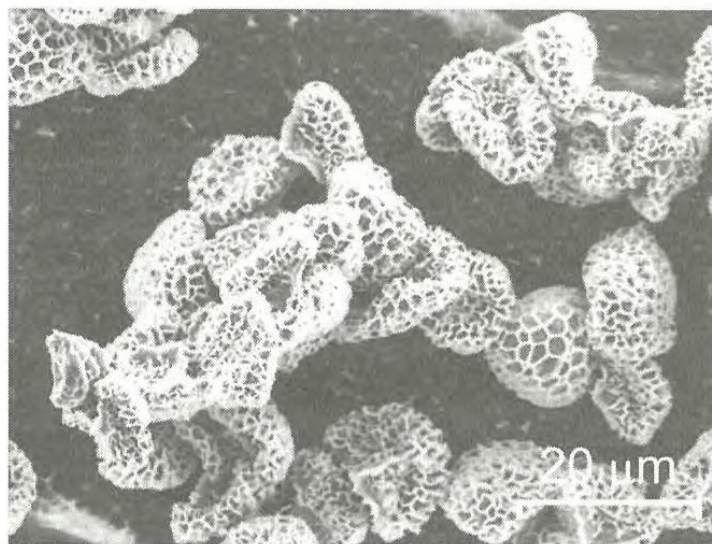


図2 燃焼後の石松子粒子の電子顕微鏡像

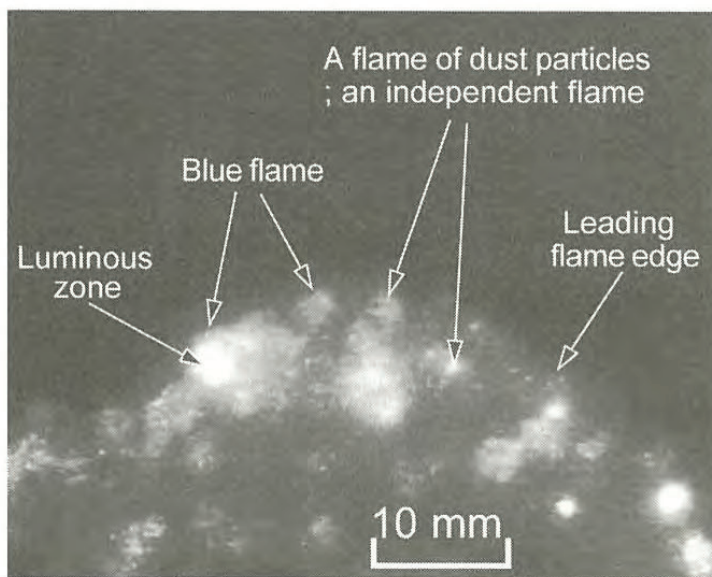


図3 石松子火炎先端付近の様子 (47g/m<sup>3</sup>)

# 石松子粉じん雲中の火炎伝ば機構

化学安全研究部 韓 宇燮, 八島正明  
松田東栄, 松井英憲

## 1. はじめに

粉じん爆発災害防止を目的に、石松子粉じんを用い、可燃性粒子群中における火炎伝ば機構について研究した。火炎前後の浮遊粉じん粒子の挙動を詳細に観察することによって、粒子間を火炎が火炎伝ばする機構を示した。

## 2. 層流火炎近傍での粒子の挙動

本研究では上端閉、下端開放という条件で、垂直ダクト中に所定濃度で均一に浮遊分散させた石松子粉じん粒子群中を、層流上方火炎伝ばする現象を対象とした。高速度カメラ及びPIV（粒子像相関流速計）装置を使用し、先端火炎付近を観察、解析した。図1は、火炎前方での厚さ0.5mmパルスレーザー光路内の粒子像を示す。未燃粒子がすでに凝集して浮遊していることが分かる。前報で観察した独立火炎は、これらの凝集粒子に起因し、石松子は分散性の優れた標準粉体として使用されているにも拘わらず凝集して浮遊することがわかった。

最初、粉じん粒子は終末速度で沈降するが、火炎先端が接近するにつれて次第に速度を落とし、しかもその方向を逆転し上方へ加速される。加速された粒子は予熱帯の先端で最大速度に至った時点で火炎に追いつかれて発火、燃焼を始めるようである。さらに、火炎は一種の高温の膨張波であり、その移動とともに前方に速度の小さい領域が形成し、粉じん濃度の局所的増大が生じるが、逆に予熱帯ではその濃度は次第に減少し平均粉じん濃度よりも低下し、粒子間の平均距離も拡大すると考えられる。

一方、火炎の伝ばは対流を誘起するので、管壁近傍では未燃粒子の巻き込みが生じ、二次火炎を発生する原因になる。すなわち、浮遊粉じんの一部は、一次上方火炎が通過した後方に取り込まれ、再び未燃の浮遊粉じん雲を形成するので、これが先行火炎によって着火すれば、一次上方火炎と同様に層流上方火炎で伝ばすることがある。場合によっては、三次火炎が観察される場合もあった。図2は、巻き込みの様子を示す。

## 3. 火炎伝ば機構モデル

これまでの実験結果をまとめて、石松子の粒子群中における火炎伝ば機構をまとめ、モデルを考えた。図3は、粉じん濃度が比較的高い場合の例で、低濃度の場合同様、単一粒子の点状火炎と凝集粒子の燃焼で生

じる独立火炎が形成されるが、濃度が高いのでそれらの火炎が融合して、大きく明るい火炎になる。その結果、伝熱も促進され、火炎速度も大きくなる。点状火炎と独立火炎はあまり上方へ動かないが、それよりも上方（前方）にある未燃粒子が発火する。ちょうど飛び石のように次々に発火していくので全体の大きな火炎が上方へ伝ばしていくように見える。

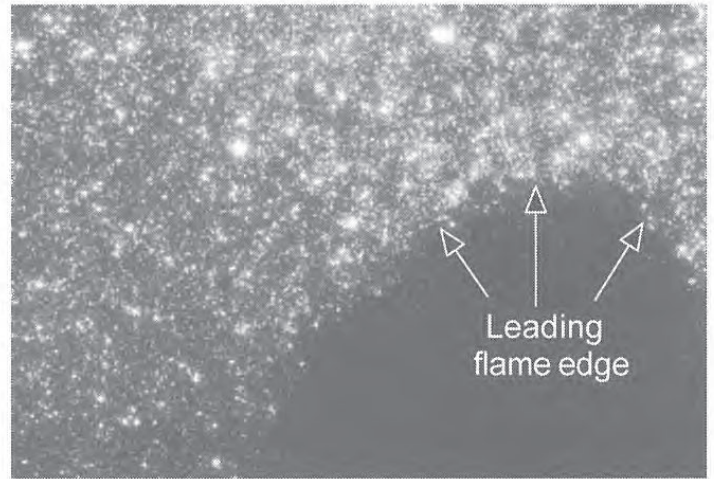


図1 火炎先端での未燃粒子のイメージ

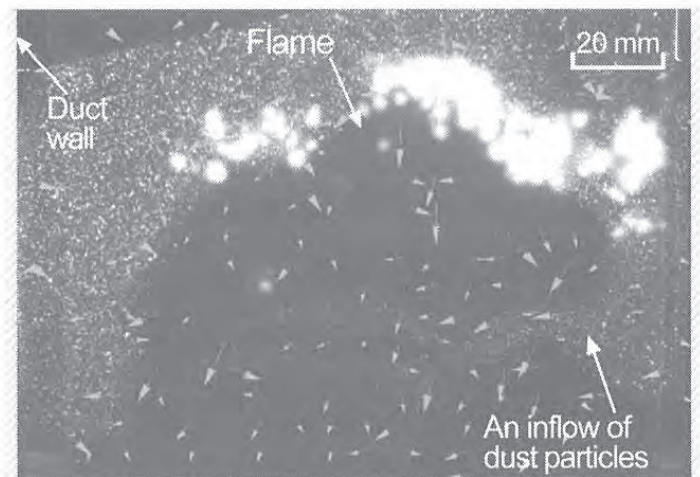


図2 未燃粒子の巻き込みの様子

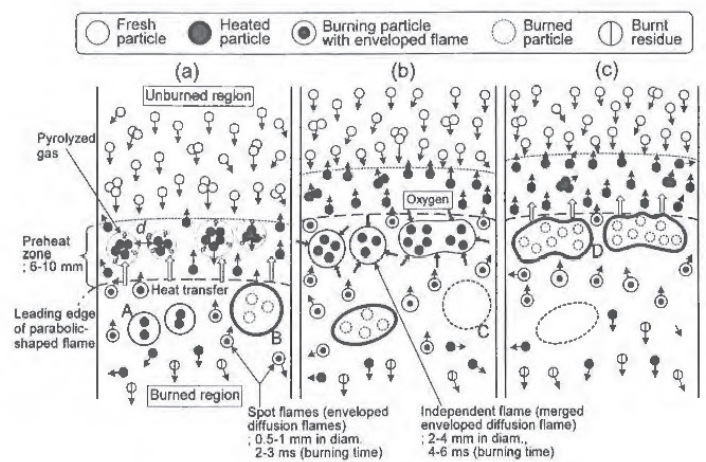


図3 石松子火炎伝ばモデルの例

1. はじめに

化学プロセスにおいては、様々な可燃性液体が高温高圧下で取り扱われており、この高温液体が漏洩した際に自然発火を起し火災となる事例がしばしば見受けられる。現在、広く用いられている発火温度測定は、定められた試験機器と手順にしたがってなされているが、その方法による測定値よりも低い温度で発火することがあり、高温可燃性液体の発火危険性が正確に捉えられていない。そこで、試料を事前に高温に予熱した場合、及び、試験容器の大きさを変えた場合において、発火の有無を観測する実験を行った。

2. 実験装置と方法

装置は、試料を予熱しながら放出できる試料加熱部、発火の有無を観測する発火試験部、および、試験容器の上部、側面、底部に設けられたヒーターの電力調節を行う制御部から構成されている。発火試験部は、可燃性液体の発火温度測定に広く用いられているATSM式発火温度測定装置にほぼ準拠しているが、今年度は規定の200ml三角フラスコ以外に1000ml丸フラスコまでの試験容器も使用できるように改良した。

実験手順は、まず、試料加熱部と発火試験部を所望の温度に調整する。次に、注射器で測り取った試料を空気圧によって試料加熱部を通過させる。その後、発火試験部において、火炎が認められるか否かを観察する。火炎が認められた場合には、注入から発火までの発火遅れ時間を記録する。

3. 実験結果

3.1 デカンを予熱した際の最低発火温度

表1は、直鎖の飽和炭化水素の1つであるデカンを試料とし、試料加熱部の温度を一定としたまま発火試験容器の温度と試料量とを変化させ、発火が認められた最低温度である。測定値は、ほとんど一定値を示し、試料を予熱しても変化がみられなかった。これは、数秒以内で即座に発火する場合には、試料の加熱に必要な時間と熱エネルギーが無視できないが、最低発火温度付近においては、発火遅れ時間が数分以上であって、その間に試験容器から十分な熱エネルギーを得ているためと考えられる。

表1 デカンを予熱した際の最低発火温度

試料の予熱温度(℃)	室温	100	170	200
最低発火温度(℃)	204	200	202	204

(試験容器：500ml丸)

3.2 試験容器別のデカンの発火領域

図1は、3種類の試験容器ごとに発火領域を示した図である。200ml三角フラスコを用いる従来のASTM法での最低発火温度は206℃であったが、500ml丸フラスコでは204℃と2℃、1000ml丸フラスコでは190℃と16℃だけ発火領域が低温側に拡大した。また、ペンタンでも18℃拡大した。これは、ガス・蒸気其自然発火においても、蓄熱と放熱のバランスが発火を左右しており、固体・液体の自然発火の限界温度がスケールが大きくなるにつれて低温側に移行する現象と同様であると考えられる。

3.3 試験容器別の発火遅れ時間

図2は、各試験容器でそれぞれの最低発火温度を示す試料量の場合での試験容器の温度と発火遅れ時間の関係を示したものである。

200mlと500mlの試験容器では最低発火温度の際の発火遅れ時間が最長でも3分程度であるが、1000mlでは試験容器の温度が低下するにつれて蓄熱過程を余分に必要となるため、最低発火温度の際の発火遅れ時間は6分を超えた。

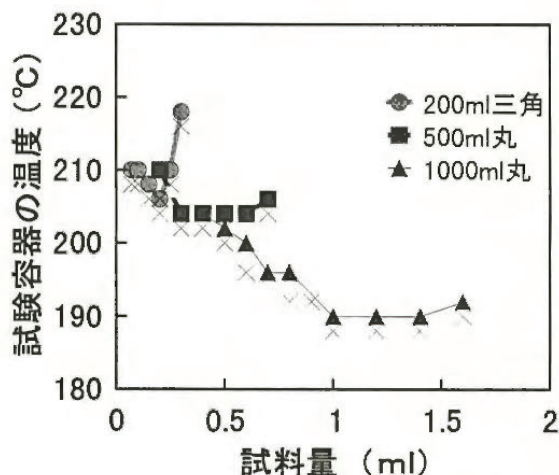


図1 デカンの試験容器別の発火領域

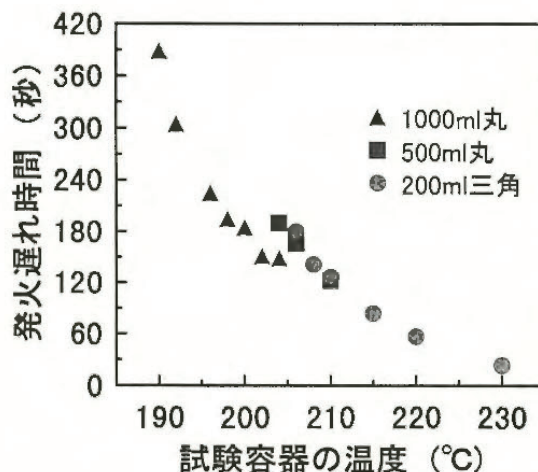


図2 デカンの試験容器別における温度と発火遅れ時間の関係

# 高温・高圧下でのエチレンオキシドの分解爆発特性

化学安全研究部 水谷高彰, 松井英憲

## 1. はじめに

本研究では、エチレンオキシド (EO) の窒素希釈による着火濃度範囲、最小着火エネルギー (MIE) などの分解爆発特性の加温・加圧による影響を調べることに、高温 (120~180℃)・高圧 (~0.9MPa) 下での分解反応の危険性の評価を行った結果について報告する。

## 2. 実験

反応容器 (円筒型直径 5cm 深さ約 13cm 容積約 200 cm<sup>3</sup>) にEOと窒素を所定の温度・圧力・混合比で、導入し、放電により着火した。濃度限界の測定では、ネオントランス (80J [16kV, 50mA, 0.1s]) による空間放電 (電極間隙 3mm) を着火源としたが、MIEの測定では、圧力・温度・混合比に関係なく安定して放電が得られるコンデンサーの容量放電による沿面放電 (lead guided spark, 2 mm φ × 1cm) を着火源とした。

## 3. 実験結果及び考察

図1にEO・窒素混合ガスの着火濃度範囲を示す。窒素による希釈の効果は、いずれの温度でも窒素10%程度では殆ど効果が無く、EO濃度が50~70%の範囲まで下がってくると急激に効果が現れ、EO濃度を10%減ただけで下限界圧力は2~3倍に上昇する。また、この希釈の効果が始めるEO濃度は温度が上昇すると共に低下し、その割合はおおよそ4℃で1%の割合である。

EO濃度とMIEの関係を図2に示す。沿面放電を用いた場合、温度150℃、初圧0.2MPaでは、EO100%の時、MIEは0.4J程度であり、EO濃度が減少するに従い、窒素ガスの希釈効果によって、MIEは急激に増加する。EO100%の場合の初圧とMIEの関係を図3に、温度とMIEの関係を図4に示す。図3、4からMIEの対数が圧力及び絶対温度の逆数と直線関係にあり、MIEの変化が活性化エネルギーに起因していることを示唆している。空間放電を用いた実験より、沿面放電を用いた実験の方が着火範囲が狭い結果が得られたが、これは、沿面放電の方が電極による熱損出が大きくなるためと考えられる。

## 4. まとめ

- (1) 今回の実験範囲では、初圧を0.015MPa以下若しくは、EO濃度40%以下で分解爆発を抑制出来る。
- (2) 分解爆発が起きるEO濃度, 圧力, 温度の下でもMIEは0.1Jのオーダーであり十分な静電気対策により分解

爆発を抑制出来る。

- (3) 分解爆発のMIEは分解反応の活性化エネルギーに依存しており、今回の実験範囲を超えて高圧・高温になるとMIEが小さくなり危険性が増すことが推定された。

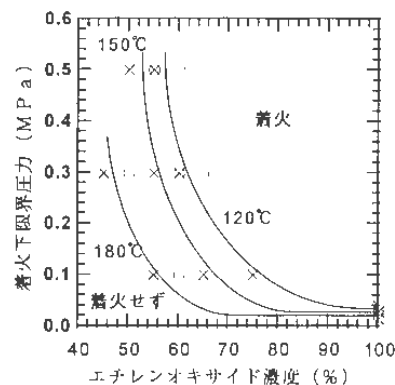


図1 EO・窒素混合ガスの着火範囲

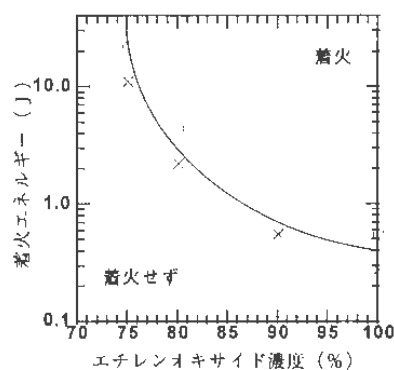


図2 MIEに対する窒素希釈の効果 (150℃, 初圧: 0.2MPa)

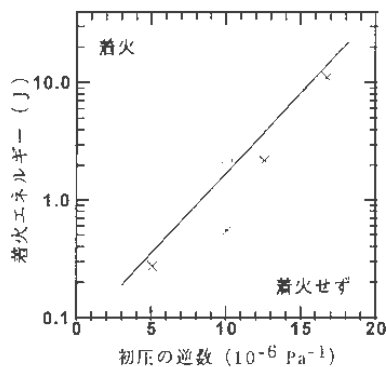


図3 MIEに対する初圧の効果 (150℃, EO: 100%)

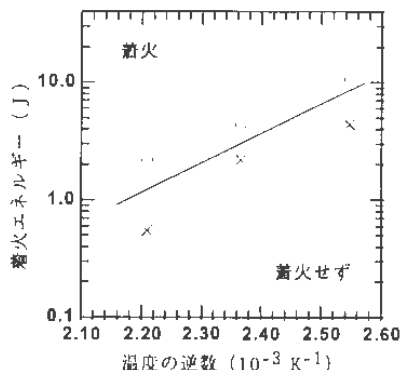


図4 MIEに対する温度の効果 (初圧: 0.1MPa, EO: 100%)

## 液・液不均一系における酸無水物の加水分解反応速度の評価

化学安全研究部 藤本康弘

### 1. はじめに

化学プラントでは、不適切な反応条件の設定あるいは設備の故障等の設備・操作面でのトラブルが暴走反応を引き起こし、大事故に至った例が少なくない。本研究テーマでは、液-液不均一系の反応に注目して、攪拌が停止した状態で2層になり、その後で攪拌されることで反応が急激に開始して暴走反応状態におちいる事態を想定し、攪拌時の混合状態に及ぼす液の物性値の影響などの検討を続けてきた。

これまで、酢酸と水酸化ナトリウムを用い、酸塩基の中和反応を利用して混合の影響を検討してきたが、今年度は、異なる反応速度における混合時の状況の評価する目的で、有機鎖の長さを変化させるなどにより容易に反応速度を変化させうると考えられる有機酸無水物の加水分解反応について、その速度評価をおこなった結果を報告する。

### 2. 実験結果

まず最初の実験は、イオン交換水 800mlを入れた反応容器に攪拌速度 180rpm で酸無水物 0.3 mol を 10 分間かけて滴下し、発生する反応熱を反応温度（滴下時からの容器内の液温）一定のモード（300K（27℃）～340 K（67℃）の範囲）で測定した。なお、滴下する酸無水物自体の温度は、室温（～300K）である。320Kにおける各酸無水物の発熱曲線は、図1のようになる。この実験から、無水酢酸、無水プロピオン酸の加水分解反応に対して、酪酸無水物の反応は、この反応条件下では非常に遅く、今回の評価には適さないことがわかった。発熱量の時間変化曲線から1次反応を仮定して反応速度定数を求め、また反応温度を変えて測定した反応速度定数からそれぞれの反応の活性化エネルギーを計算すると、無水酢酸の加水分解反応で $\Delta E \sim 120 \text{ kJ/mol}$ 、無水プロピオン酸の加水分解反応で $\Delta E \sim 110 \text{ kJ/mol}$ となった。

また、触媒効果を期待して、無機酸として塩酸を、また無機塩基として水酸化ナトリウムをあらかじめ水層に加えておいて反応速度の変化を評価したが、塩酸は効果がみられず、また水酸化ナトリウムは中和熱が大きすぎて加水分解反応の速度変化が隠れてしまい、いずれも反応速度をコントロールするという目的には沿わなかった。

次に、酸無水物 0.3 mol をベンゼンに溶解して 200 g

Heat Flow (W)

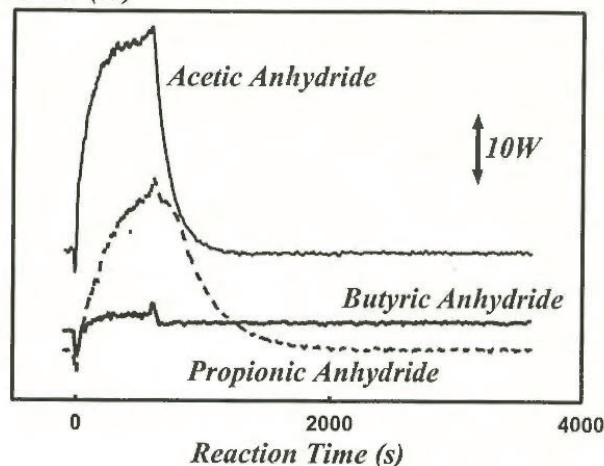


図1 酸無水物の加水分解による発熱挙動

の溶液とし、同様に10分間で添加してその発熱量を測定した。反応速度は、試薬をそのまま用いて測定した場合と比較してはっきりと遅くなり、反応速度定数の大きさをみると無水酢酸の場合で約4割、無水プロピオン酸の場合で約2割の値となった。また、活性化エネルギーも、無水酢酸の加水分解反応で $\Delta E \sim 80 \text{ kJ/mol}$ 、無水プロピオン酸の加水分解反応で $\Delta E \sim 80 \text{ kJ/mol}$ 、といずれも試薬をそのまま用いて反応させた場合と比較して7割程度の値となった。

最後に、攪拌を弱めて2層分離させてから混合させる手順で、反応速度を測定した。無水酢酸 0.3 mol をベンゼンに溶かして 200 g とした溶液を添加する際に攪拌の回転数を下げて (40rpm) 添加、2層分離させてから回転数を上昇させて一気に攪拌し (180rpm)、反応させた。この場合の反応速度定数は、320K で  $k = 3.2 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$  と得られ、回転数をはじめから 180rpm にして添加した場合の反応速度  $k = 2.4 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$  と比べると、5割程みかけの速度が速くなっていることがわかった。

### 3. まとめ

化学プラントにおける種々の反応操作の危険性評価をラボ試験で行うにあたって、これまでモデル反応として酢酸と水酸化ナトリウムの中和反応を利用してきた。しかし、この反応は速度が速いため、化学産業で利用されている種々の反応のごく一部をモデル化することしかできない。そこで、より反応速度が穏やかなラボ試験用のモデル反応の候補として、ここでは酸無水物の加水分解反応の利用を考え、その反応速度の評価をおこなった。その結果無水酢酸の加水分解反応であれば、たとえば、ベンゼンで希釈した溶液を用いても適当な速度で反応が進行することがわかり、モデル反応としての利用可能であることがわかった。



### 1. はじめに

DSC(示差走査熱量測定)による測定値は、昇温速度、測定時の雰囲気ガスの種類、雰囲気圧力、試料量、試料容器等の種々の要因によって影響を受けるため、測定結果の解釈には十分な注意が必要である。

ここでは、テルミット反応による高熱で結晶水を瞬時に蒸発させ岩石等を粉砕する破砕薬の製造中に生じた事故の原因検討過程で明らかとなった、アルミニウムと硫酸アルミニウム(含水及び無水)との混合物のDSC測定結果に及ぼす試料容器の影響について検討した結果を報告する。

### 2. 実験

試料は、購入試薬をそのまま用いた。試料容器は、セイコー電子工業(株)製のステンレス製密封容器を用いた。開放容器による測定では、同じ密封容器を蓋なしで用いた。

### 3. 結果

図1は、アルミニウム-硫酸アルミニウム(14-18水)混合物(以下、含水塩との混合物と呼ぶ)及びアルミニウム-硫酸アルミニウム(無水)混合物(以下、無水塩との混合物と呼ぶ)のDSC測定を密封容器及び開放容器を用いて行った結果である。(1)及び(2)の含水塩との混合物の測定では、密封容器による測定の方が開放容器より低温側に発熱が生じている。一方、無水塩との混合物では、密封容器及び開放容器のいずれにおいても500℃以下の温度域での顕著な発熱は認められていない。

図2は、図1でDSC測定結果を示した混合物の各成分について、開放容器及び密封容器を用いて測定を行った結果を示したものである。その結果と、先の混合物についての結果とを合わせて検討すると、開放容器によるアルミニウム-硫酸アルミニウム混合物の測定結果は、無水塩及び含水塩いずれの場合も、アルミニウムと硫酸アルミニウムそれぞれ単体での測定結果を重ね合わせたものになっているが、密封容器による測定では、成分単体では認められない複数の発熱ピークが現れている。

その理由は、含水塩との混合物の密封容器による測定では、含水塩からの結晶水の離脱が段階的に起こり、それが試料容器内にとどまってアルミニウムと反応するのにに対し、開放容器では離脱した結晶水が容器外に蒸散してしまうためであると考えられる。

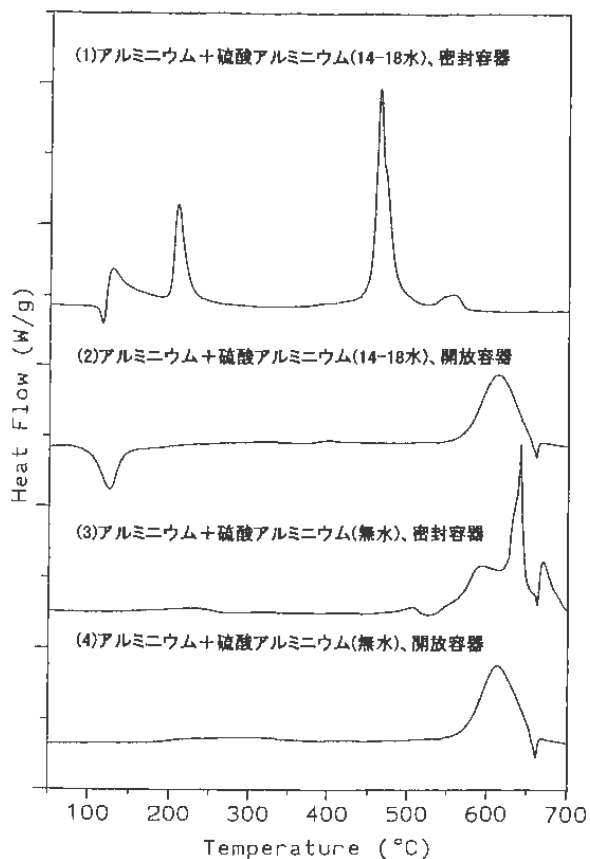


図1 アルミニウム-硫酸アルミニウム混合物のDSC測定結果

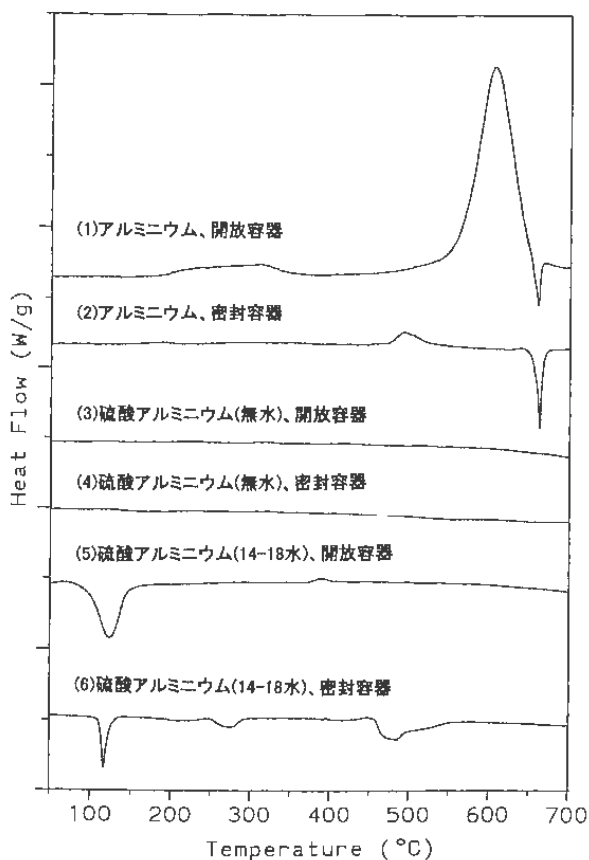


図2 アルミニウム及び硫酸アルミニウムのDSC測定結果

1. はじめに

一酸化窒素 (NO) を含む排気ガスを大気圧の非平衡放電プラズマを用いて処理する場合、被処理ガス中の酸素 (O<sub>2</sub>) 濃度が高いとNOの酸化によってNO<sub>2</sub>が発生しやすくなるのでその対策が別途必要となる。NOの酸化は放電によって生成されたOラジカルやオゾン(O<sub>3</sub>)によって行われるので、これらを反応領域から速やかに除去することにより、NO<sub>2</sub>の生成を抑制することができると考えられる。このような発想に基づいてオゾン分解性能を有する活性炭をプラズマ反応空間に配置した処理装置を試作し、その性能を調べた。

2. 実験装置および方法

プラズマ反応器の構造を図1に示す。放電電極にはステンレス針63本を5mm間隔で3列に埋め込んだアレイ電極を使用し、これに正極性直流高電圧を印加し、正ストリーマ放電を発生させた。オゾン分解活性炭(以下、活性炭)は、直径5mm、高さ5mmの円筒状ペレットに成形されており、これを図のように、反応器内部の両サイドに貼付した。被処理ガスは、ボンベ入りN<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>およびNOをマスフローメータで流量調整することにより調合した。調合条件は、O<sub>2</sub>濃度概ね5, 10, 15%ならびにNO濃度概ね20, 45, 70ppmとした。被処理ガス流量は2L/minに統一した。

活性炭の効果を確認するために、以下の三種類の組み合わせで分解実験を実施した。

- (1) 活性炭を貼付しない反応器 (通常型)
- (2) 活性炭を貼付した反応器 (活性炭型)
- (3) 通常型の後に無放電活性炭型を連結 (連結型)

3. 実験結果及び考察

活性炭型を用いた分解実験結果の一例を図2に示す。反応器の放電電力が増加するにつれてNO濃度は減少し、7W付近ではほぼゼロとなっている。一方、NO<sub>2</sub>濃度はNO濃度とは逆に増加傾向を示すが、5W付近でピークに達した後減少に転ずる。また、O<sub>3</sub>はNO濃度が最小値となったあたりから発生し、放電電力ともに増加していくという傾向を示している。通常型及び連結型では、NO濃度は減少はするもののゼロ付近まで達することはない。また、NO<sub>2</sub>濃度は飽和傾向を示すが、減少に転ずることはなく濃度レベルも活性炭型に比べ大きい。なお、O<sub>3</sub>濃度は逆に活性炭型よりも低くなっている。これは、NOとNO<sub>2</sub>によるO<sub>3</sub>の分解反応

の影響と考えられる。NOとNO<sub>2</sub>の和をNO<sub>x</sub>と定義し、放電電力に対するNO<sub>x</sub>の分解率を反応器の種別毎に比較したものが図3である。放電電力の増加とともに活性炭型では分解率が増加し、60%以上に達するが、連結型では最大約20%、通常型ではNO<sub>x</sub>が逆に増加している。以上の結果は、活性炭によるOラジカル及びO<sub>3</sub>の除去の効果によるものと結論できる。

4. まとめと展望

残留酸素濃度が高い排気ガス中のNOの処理において、放電プラズマと活性炭の併用が効果的であるということが実証された。今後は、実際の排気ガスを対象に、より実地的な反応器の開発を行う予定である。

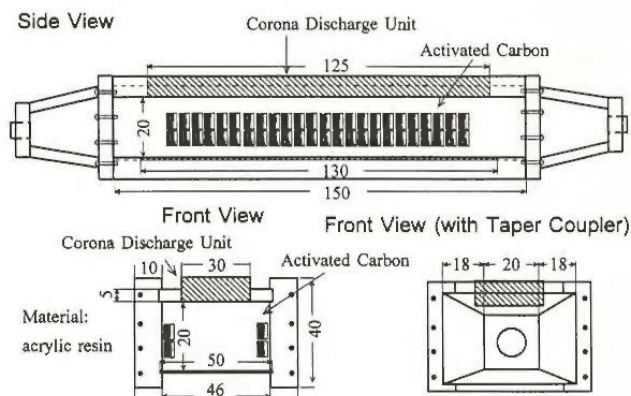


図1 プラズマ反応器の構造 (活性炭併用)

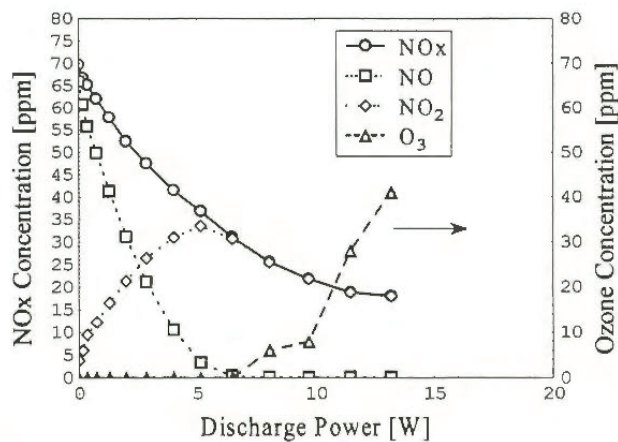


図2 活性炭型のNOx分解特性

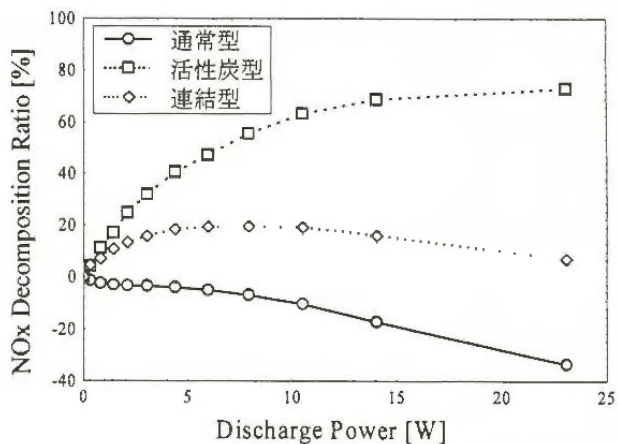


図3 各型のNOx分解率の比較

# 絶縁フィルムと帯電防止素材の組合せで起こり得る沿面放電の特徴

物理工学安全研究部 山隈瑞樹, 児玉 勉

## 1. はじめに

静電気放電による爆発災害を防止するために、素材に帯電防止加工を施したフレキシブルコンテナ（以下、フレコン）が市場に出てきている。帯電防止の手法は、素材全体を導電化したもの及び絶縁性素材に適当な間隔で導電性細線を織り込むことによって静電しゃへい効果またはコロナ放電による電荷の中和作用を利用したものの二種類に分類される。いずれの場合でも、単独で正しく使用する限り十分な効力を有するが、汚染防止等の目的でポリエチレン等の絶縁性内袋を併用する場合もあり、絶縁フィルムに電荷が多量に蓄積すれば着火性の沿面放電を生じる可能性がある。そこで、市販されている代表的なフレコンの素材を使用して絶縁フィルムと密着させ、後者を強制的に帯電させることにより沿面放電が発生するかどうか、また発生場合にはその電荷量及びエネルギーがどの程度となるか実験的に調べた。

## 2. 実験装置および方法

帯電防止材料として、市販フレコンの素材として使用されているもの3種類を、また、帯電用フィルムとしてPETフィルムを用いた。図1に示すように、フレコン素材の上にPETフィルムを重ね合わせ、水平なプレート上に置き、素材を接地をし、コロナ放電式荷電電極を用いてPETフィルム上20×20cm<sup>2</sup>の領域を帯電させた。その後、接地した金属球を接近させ、沿面放電を発生させた。比較のため、接地金属板に直接PETフィルムを重ね合わせた場合についても実験した。

## 3. 実験結果及び考察

### 3.1 放電の観測

各素材上での沿面放電を肉眼で観測した。接地金属板（以下、MP）+PETフィルムの場合には、放電点を

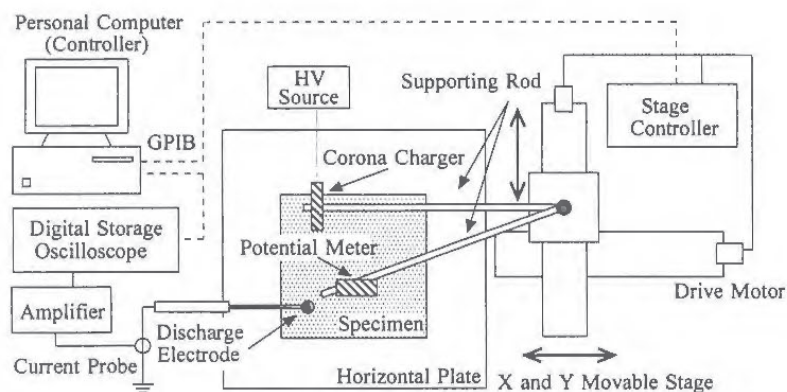


図1 沿面放電試験装置の構成

中心に、発光部が樹枝状に広がり、リヒテンベルク模様が明瞭に観測された。帯電電圧が高くなるほど発光部は広がりが増し、常に非常に大きな音響を伴った。金属繊維織込布（MF）+PETフィルムの場合には、ほぼ繊維に沿って発光部が伸びた。帯電電圧が高くなるほど発光部は広がりが増し、音響も大きくなった。炭素糸織込布（CS）+PETフィルムの場合は、炭素糸に沿って放電光が走った。発光は比較的弱く、音響も小さく、周囲が明るいとは観測が困難であった。最後に、導電性ゴム引布（DR）+PETフィルムの場合には、放電パターンはMP+PETと類似するが発光部の広がりには限定的であり、音響も小さく、周囲が明るいとは目視での観測が困難であった。

### 3.2 放電電荷量

PET表面の電位と1回の放電で得られた放電電荷量Qdの関係を図2に示す。同電位で比較するとQdはMPの場合に最大となる。次いでMFが来るが、高電位領域ではMPとの差は小さくなり、他の素材とは2桁近くも異なる。これには、金属繊維から発生するコロナ放電が大きな役割を果たしているものと考えられる。MP、MFともに放電波形は極めて似ている。放電領域はMPが全体的であるのに対し、MFでは導電繊維の縫い込みパターンにほぼ沿う形となる。このように、全体の放電電荷量に大差はないのに、放電路が限定されているということは、放電路でのエネルギー密度が極めて高いことを意味するものと考えられる。CS及びDRの場合は、MP及びMFに比べ放電電荷量は1～2桁ほど低い値であり、かつ、放電持続時間も約1桁大きい値となった。

## 4. まとめ

金属繊維編込布は、絶縁性フィルムと併用すると条件によっては金属板に匹敵するほどの放電電荷を持つので、粉じん爆発を引き起こす可能性がある。他の素材でも可燃性ガス・蒸気の雰囲気下では注意して使用すべきである。

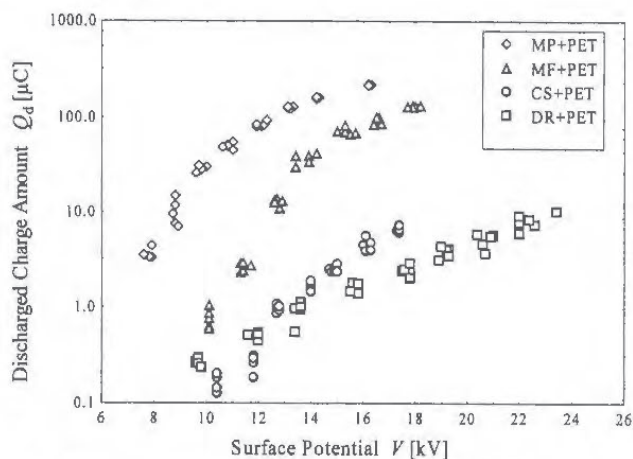


図2 沿面放電で得られた放電電荷量

# 粉体サイロ内の静電気放電の観測と除電の試み

物理工学安全研究部 児玉 勉

## 1. はじめに

近年、化学工場等では、粉体状の原材料を空気輸送することが多く行われているが、その際に配管内壁との摩擦等により粉体に多量の静電気が発生し、粉体を受け入れるサイロ内で静電気放電を着火源とする粉じん爆発が発生する恐れがある。本研究では、サイロ内で発生する着火性放電の観測と、これを防止するため粉体を除電する方法について実験的検討を行った。

## 2. 実験方法

実験には図1に概要を示すような実規模大の空気輸送帯電実験装置を使用した。サイロは直径1.5m、容量1.5m<sup>3</sup>のSUS製円筒型で、配管は長さ約20mの4インチSUS管である。試料は約400kgのポリプロピレンペレット(粒径4-5mmの楕円状)を用いた。実験では、ペレットをサイロ底部からロータリーバルブで空気輸送配管に導き、配管系を空気輸送したペレットをサイロ上部から再びサイロ内へ落下させ、循環させた。ノズル型除電器は、4インチ径のPVC短管の外周に8個のイオン生成ノズルを取り付けたもので、これをサイロ上部の粉体投入用配管末端に設置した。イオン生成ノズルには、除電用の空気イオンを生成するため針状の放電電極を設け、これに直列抵抗を介して直流高電圧を印加してコロナ放電を起こさせた。各ノズルには250kPaの圧縮空気を供給して、粉体の付着を防止するとともに、空気イオンを配管内粉体に吹き付けた。サイロ内の静電気放電の観測では、サイロの天窓にイメージインテンシファイア(平均ゲイン6万倍)と一眼レフ光学カメラ又はビデオカメラからなる撮影装置を設置して

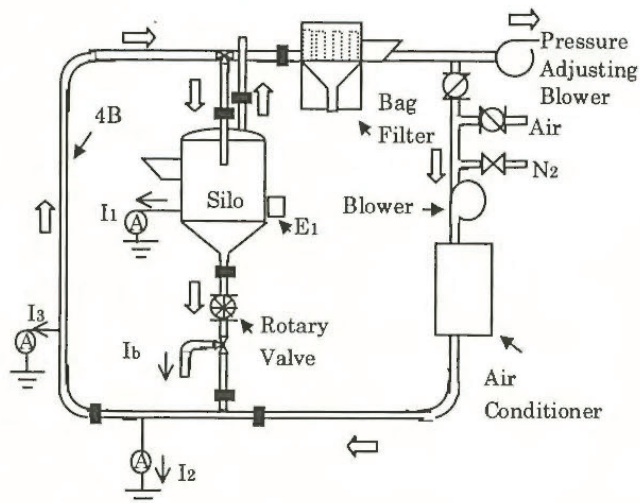


図1 実験装置の概要

ペレット堆積表面をほぼ真上から撮影した。

## 3. 実験結果

除電を行わない場合は、条件によっては、肉眼でも観察されるような静電気放電がペレット堆積表面上で発生した。図2は、イメージインテンシファイア付き光学カメラによる観測結果の例である。図3はノズル型除電器へ正極性の直流高電圧を印加した場合の、印加電圧と放電発光状態との関係を示す。3kVを印加すると、電圧を印加しない場合に比べて若干放電発光が弱まり、5kV以上の印加では放電発光はほとんど消失した。ただし、5kV印加では約1時間の連続運転によるビデオ撮影では、まれに弱い放電の発生が確認されたが、7kV印加では放電の発生は認められなかった。以上の結果、ノズル型除電器によるペレットの除電がサイロ内の堆積ペレット表面上の着火性放電の発生防止に効果的であることが判明した。

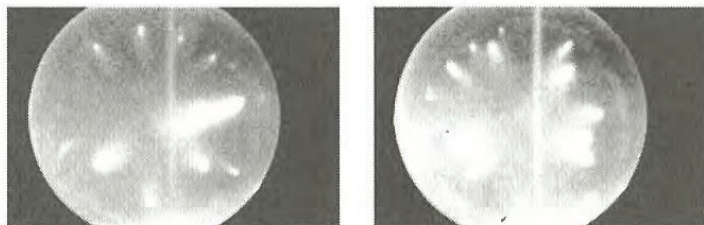
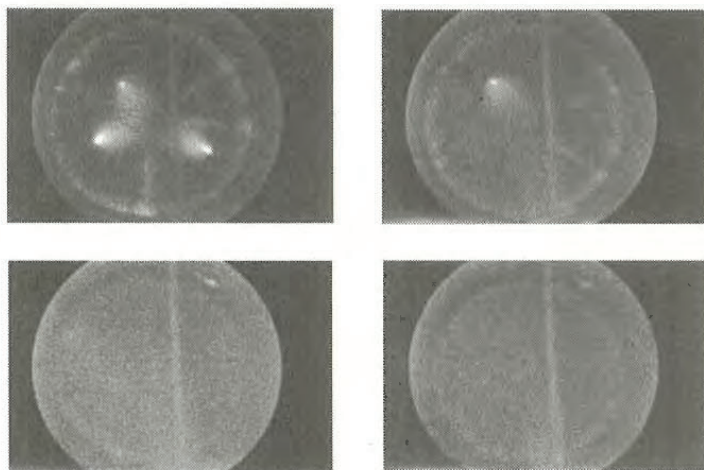


図2 放電観測例 (温度40℃, 湿度60%, 風量10m<sup>3</sup>/min, 粉体供給量32kg/min, 露光時間10s)



- (a) 左上 印加電圧+0kV
- (b) 右上 印加電圧+3kV
- (c) 左下 印加電圧+5kV
- (d) 右下 印加電圧+7kV

図3 堆積ペレット表面上の放電発生状況と除電器印加電圧 (温度30℃, 湿度40%, 風量10m<sup>3</sup>/min, 粉体供給量32kg/min, 露光時間10s)

# ガラスビーズディスクを用いた直流バリア放電の放電特性

物理工学安全研究部 大澤 敦  
豪州科学産業研究機構 R. Morrow, A.B. Murphy

## 1. はじめに

ガラスビーズディスクを用いた直流バリア放電を考案した。一般にバリア放電（無声放電とも呼ばれる）は電極を絶縁物で覆うため交流で放電を励起するのが普通である。考案した放電のオゾン発生器への応用の可能性を調査するため、この放電特性を観測した。

## 2. 実験

用いたディスクは接触点のみが溶融して接合されたガラスビーズで構成されている。この接合によってガラスビーズが固定されているので、静電気力によるビーズの飛散がなくなり、電極-ディスク間隔の影響も調査することができる。ガラスビーズは直径が(A) 0.2, (B) 1, (C) 2 および (D) 3 mmの4種類を用いた。実験装置の概略を図1に示す。

## 3. 放電特性

このディスクを電極間に挟んで高電圧を印加すると、図2のように放電は電極とディスクの間で起こったが、期待したようなディスク内のビーズとビーズのギャップ間での放電は起こらなかった。また、放電はビーズの極上で起こる断続的な微小な放電で構成されていた。放電特性はガラスビーズのサイズ、電極-ディスク間隔および電圧の極性に依存した。放電電流はビーズサイズの減少とともに増加し、電極-ディスク間隔の増加とともに減少した(図3)。放電電流波形には断続的に発生する多くの電流パルスが直流分に重畳していた。電流パルスの頻度はビーズサイズおよび電極-ディスク

間隔の増加とともに減少した。逆に、電流パルスの振幅はビーズサイズおよび電極-ディスク間隔の増加とともに増加した。直流電流は電圧の極性に依存しなかったが、電流パルスは極性に依存した。正極性の場合、パルス幅がビーズサイズの増加とともに増加し、振幅がこれにともない減少することが観測されたが、負極性の場合、ビーズサイズに依存しなかった。また、電流パルスの頻度は負極性の方がわずかに少なかった。

放電の発生は電極とビーズあるいはビーズとビーズの接触点における電流の集中によって生ずる電界の強調と気体の破壊電界の距離依存性によることがわかり、このディスク構造では電極とディスクの接触点で電界の強調が最も顕著であることが実験的に説明された。このことは、ガラスビーズディスクの構造によって、放電を生成する位置の制御が可能であることを示唆した。

オゾン濃度の測定値は2 mmのビーズを用いた場合が最も高かったが、電力効率は3 mmのビーズが良いことが示された。



図2 放電形態

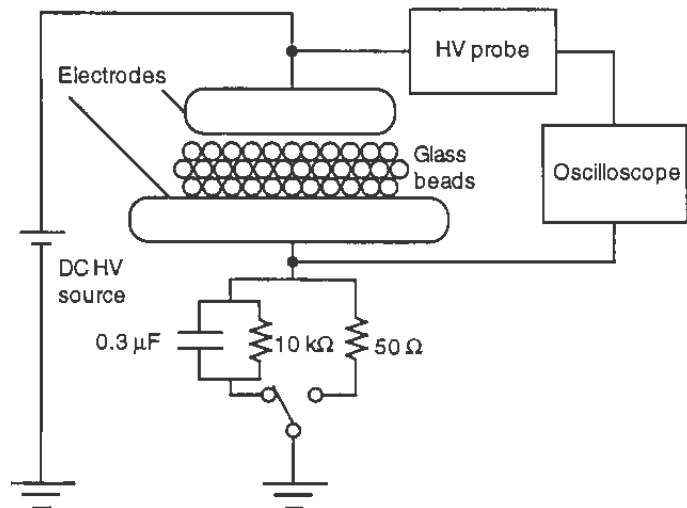


図1 実験装置

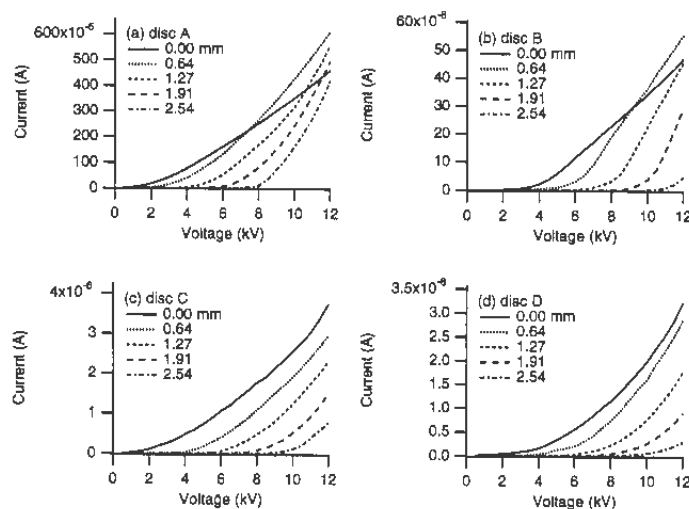


図3 電流-電圧特性, (a) 0.2, (b) 1, (c) 2, (d) 3 mmビーズディスク, 図中のパラメータの数値は電極-ディスク間隔を示す。

# 二酸化硫黄雰囲気下におけるマイグレーションによる配線板の絶縁低下発生機構

理工学安全研究部 本山建雄

## 1. まえがき

科学技術の進展により、電子機器は小型・軽量・高機能化及び多機能化の道を進んでいる。これらは高密度実装による配線の狭ピッチ化を生み出しており、使用範囲の拡大に伴って結露、汚染物質など環境からのストレスを受けやすくなっている。

一方、酸性雨など環境中のSO<sub>x</sub>を含む硫化物は増加しており、電子機器の導電性不良、絶縁性不良の原因の一つになっている。特に、計測制御がシステム化され、コンピュータが製造工程に制御するようになった現在において、計測制御回路の単純な絶縁不良がシステム全体に波及し、誤動作による作業員への危険の可能性を高めている。

本研究の目的は、このような状況の下で発生が予想される電気化学マイグレーション（以下、単にマイグレーションと記す。）による絶縁不良のメカニズムを、特に、多くの故障が報告されているSO<sub>2</sub>ガス等の硫化物の存在する環境下でのメカニズムを明らかにすることにある。

ここでは、SO<sub>2</sub>ガスの存在する環境下での、温度・湿度の急な変化を伴うサイクル試験結果から、マイグレーションによる配線板の絶縁不良発生メカニズムを検討した。

## 2. SO<sub>2</sub>ガス環境下におけるマイグレーション発生機構

配線板は、通常、有機絶縁材料と銅の配線から構成されている。有機絶縁材料は耐水性や耐酸性、耐アルカリ性を備えているが、銅の配線は腐食等の化学的な作用を受け、使用中は配線間に電圧が印加されているため、通常湿度状態でも配線間で電気化学的な作用が発生し、配線間距離が短いと配線金属がイオン化して移動し、配線間に析出する現象（マイグレーション）が発生する。

このような環境下に二酸化硫黄が存在すると二種類の場合が想定される。一つは水分が少ない場合であり、配線の銅が硫化され高抵抗の硫化物の被膜を作り、マイグレーションを抑制する現象として知られている。

もう一つは、配線間に通常よりも大きな水分が付着している場合であり、マイグレーションによる障害が報告されているが、その発生メカニズム及びSO<sub>2</sub>ガスの影響は明確になっていない。これらの点を検討した

結果、図1に示す発生機構とSO<sub>2</sub>の作用が推定された。

まず、配線間の水分の吸着層が湿度の増加とともに厚くなり、これらの水分に環境中のSO<sub>2</sub>ガスが溶解し、水分は酸性になる。酸性の水の中で、電界が加わると配線金属はイオン化し、配線間を移動し、析出する。また、金属の触媒作用によって、有機絶縁材料の酸化が促進され、表面の撥水性が減少する。このため、水分が広がり、配線間をつなぐと、イオンの移動・析出が加速され、配線間が析出した金属により配線間の絶縁性は低下する。

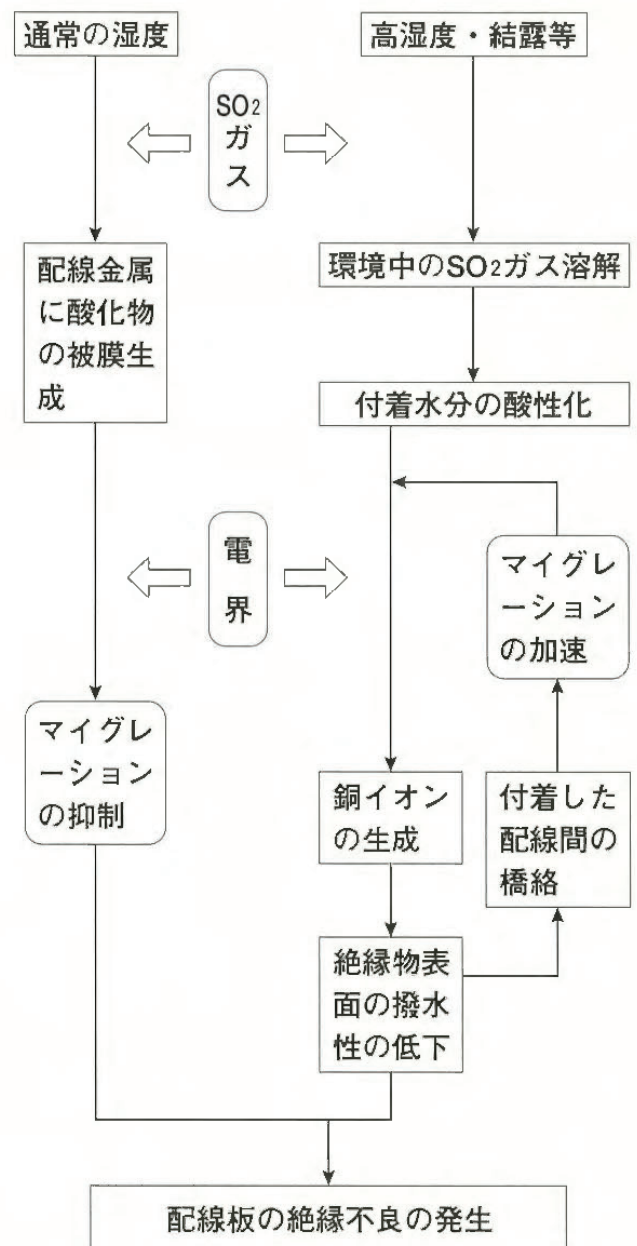


図1 SO<sub>2</sub>ガス環境下におけるマイグレーション発生機構

# 結合・減結合回路の任意電磁ノイズ波形印加への適用の検討

物理工学安全研究部 富田 一

## 1. はじめに

本研究は、労働省特別研究「生産・施工システムの総合的安全制御技術の開発に関する研究」のサブテーマ(EMC評価実験)として実施した。現在EMC評価実験のために電磁環境に即した任意の電磁ノイズを被試験器に印加可能な装置の開発を進めている。本年度はノイズ印加のために適用可能な回路を比較検討し、IEC 61000-4-6で示された結合・減結合回路の特性を実験した。

## 2. 実験方法及び結果

任意の電磁ノイズ印加の手順を図1に示す。被試験器と信号発生器との間には結合・減結合回路が挿入されている。信号発生器の出力、結合・減結合回路の伝達関数を $f(t)$ 、 $h(t)$ とすると被試験器での出力 $g(t)$ は次式で表される。

$$g(t) = \int f(\tau)h(t-\tau)d\tau \quad (1)$$

式(1)をフーリエ変換すると次式となる。

$$G(\omega) = F(\omega)H(\omega) \quad (2)$$

試験信号である出力 $g(t)$ を発生させたい波形とすると、信号発生器の出力 $f(t)$ は式(2)より求めた $F(\omega)$ ( $=G/H$ )を逆フーリエ変換することによって得られる。結合回路として適当な回路を検討するためにIEC 61000-4-6で示されたCDN-M1を例として取り上げた。同回路は容量結合によって試験信号を印加するもので、EUTポートには被試験機器が接続される。AEポートには試験信号が伝搬しないようにインダクタンスが挿入されている。CDN-M1の基本特性を確認するため、CDN-M1の両端に150Ωの抵抗負荷を接続して測定した。信号発生器から出力電圧1Vの正弦波を発生させたときにEUTポート側に接続された150Ωの抵抗に発生する電圧の振幅位相特性は図2となる。位相は数Hzから20Hz程度まではほぼ90度であり、その後約28kHzで極小となり、約57kHzで最大位相差の105度と極大となった後、再び位相差は小さくなり、約3MHzでは2度と信号とほぼ同相となる。振幅特性である出力電圧は周波数の増大とともに大きくなり、約150kHzで約0.5Vと一定値となる。

この装置を用いて所望の波形を再現させるには式(2)に基づいた演算を必要とする。ここでは図2の関係から約150kHz以上の場合には入出力の関係が単純なることから、抵抗負荷の場合に演算をすること無しに所

望の波形を出力可能な周波数範囲を検討した。振幅位相特性を測定した回路を用い、三角波を入力したときの入出力波形を周波数を変化させて測定した。図4は結果であり、三角波の周波数が約100kHz以上で入力と出力の波形が類似していることがわかる。

今後はEMクランプ、容量クランプ、電流トランスフォーマー等の結合回路としての適用性を実験的に検討することとしている。

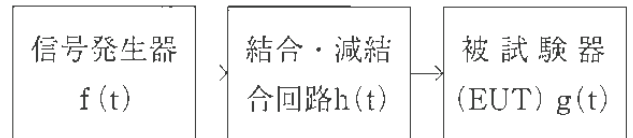


図1 任意波形印加の回路構成

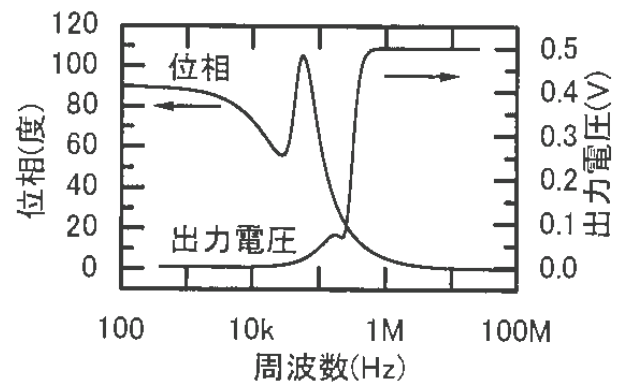
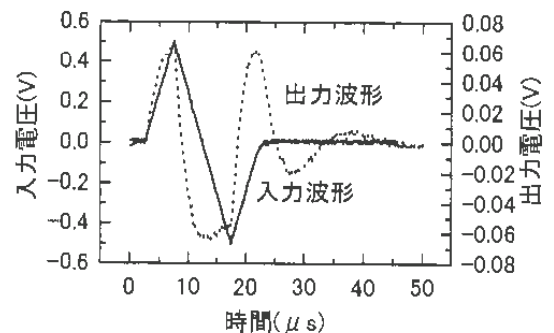
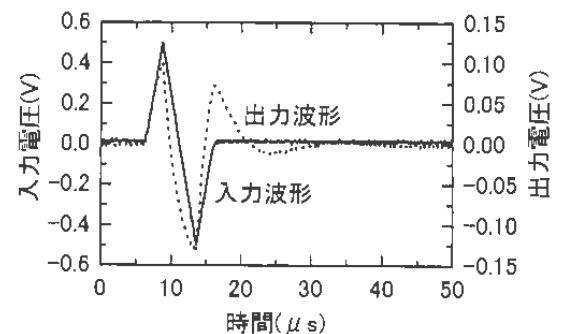


図2 CDN-M1の振幅位相特性



(a) 三角波周波数=50kHz



(b) 三角波周波数=100kHz

図3 三角波を印加したときの入出力特性

## 視覚情報を用いた作業空間内の危険領域の抽出

### — 監視方式の検討 —

物理工学安全研究部 濱島京子, 呂 健, 児玉 勉

#### 1. はじめに

人間・機械系の作業環境において、災害が発生する可能性のある危険領域はそれぞれの状態によって動的に変化する。すなわち機械災害とは危険領域の変化に人間または機械が対応できない場合に発生する。こうした災害を防ぐために危険領域の状態を把握し、人間と機械の双方に伝達するシステムの実現が求められている。危険領域の状態を判別するためには移動体（人間や機械など）が接近しつつあるか、領域内に侵入していないか、などを実時間で把握する必要がある。本研究ではまず、広範囲な環境における移動体の位置情報を実時間で取得することを目指す。

#### 2. 監視システム構成方法の検討

監視システム設計のために調査を行った結果、京都大学工学部情報工学科石田研究室の分散視覚システムが生産・施工現場等の複雑環境下に適応可能な性能を有すると判断した。本研究ではこの分散視覚システム (Distributed Vision System, 以下DVS)を参考にシステムを構成する。DVSはカメラを画像処理や通信機能などを有する視覚エージェントとして実装し、環境内に分散配置させた各エージェントをネットワークで接続することにより環境情報を取得する方式である。エージェントが各々の周囲環境を観測しネットワークを通じて相互に情報を伝達することでシステム全体として広域な作業空間に対応可能な監視機能が実現される。複数のカメラを環境内に埋め込むことでカメラ自身が環境の一部となるため、環境モデルと実環境の対応が容易に求められる点がこの方式の特徴である。また各々の視覚エージェントは独立して活動するため、エージェントの周辺環境の複雑さにあわせて画像処理方法等を変化させることができる。すなわち、その局所的な環境に特化した処理を行うことによって、観測対象を容易に、かつロバストに認識することが可能となる。このような機能は屋外での作業が多い施工現場等には必要不可欠なものである。なお、物体の位置を正確に算出するために3台以上のカメラを使用するものとする。監視カメラには図1に示す全方位視覚センサを利用する。このカメラは下向きの双曲面鏡と鉛直上向きのCCDカメラから構成されるセンサであり、鏡に映り込む情景をカメラで撮影することによりセンサ周囲360°の画像を実時間で取得することが可能である。

図2に実験室の様子を撮影した画像を示す。図2の画像ではドアや本棚等の床面に垂直なエッジが画像中心から放射状に伸びている。すなわち、入力画像中で放射エッジを検出し、そのエッジの角度を計算することで対象物体の方位角を算出することができる。これより、複数台のカメラで観測された移動体の方位角から三角測量の原理によって移動体の位置を算出することが可能となる。ただし、正確な位置を算出するためにはカメラ間の相対位置関係を正確に計測しておく必要があるため、相対位置を自動的に取得する方法などについての検討が必要である。

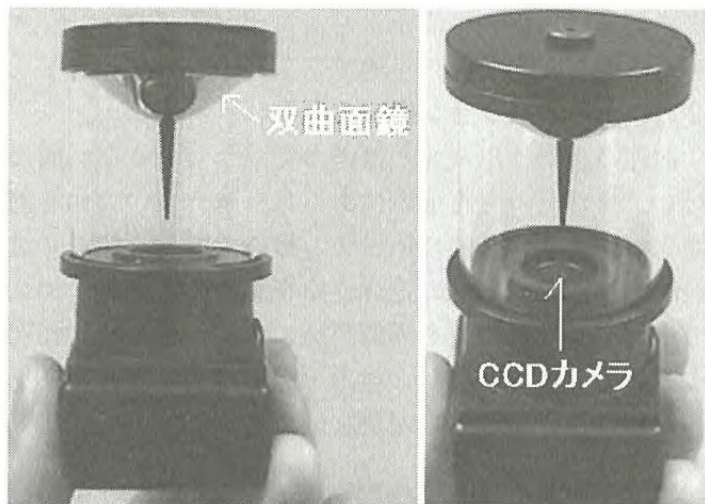


図1 全方位視覚センサ

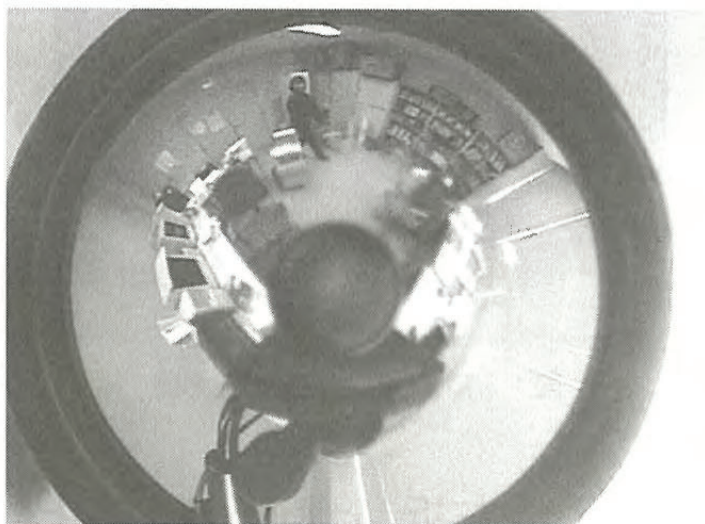


図2 全方位視覚センサの画像

#### 3. さいごに

調査の結果、全方位視覚センサを用いた分散視覚システムは生産・施工現場のような複雑環境下における移動体の大局的な行動把握に適しているとの結論に至った。今後は、実際にシステムを構築し実験を行うことによって危険領域抽出手法の検討を行う。



### 1. 本研究の目的

労働災害比率の依然高い建設業の安全化を推進するため、労働省特別研究「生産施工システムの総合的安全制御技術に関する研究」の実行テーマの一つとして、自律走行式のビル内装用施工ロボットの研究・開発を行っている。ロボット走行制御のための障害物検出と標識認識の二種の機能からなるロボットビジョンシステムの開発が本研究の目的である。

### 2. ロボットビジョン機能の概要

前述障害物検出機能とは図1で示したような画面に対し、ロボット走行前方にある乗り越えない物体を画像認識による自動的に検出する機能である。標識認識機能とは、ロボットの走行経路を制御するため、図2で示したような標識を画像認識の手法で自動的に判別する機能である。これら検出・判別結果は走行制御部へ送られ、ロボットの安全制御に使われる。

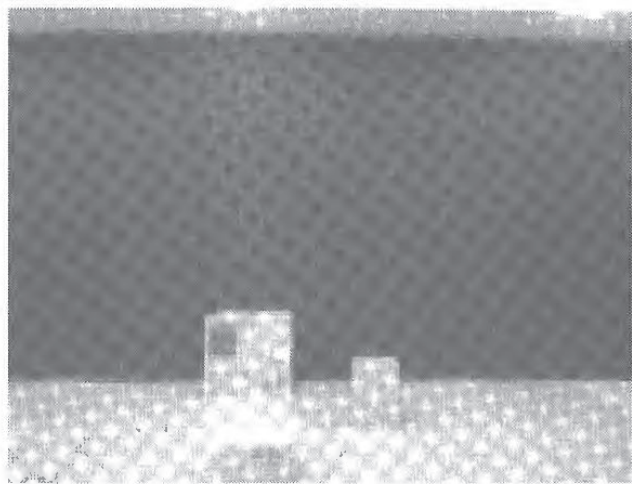


図1 障害物検出機能の入力例

右折 左折 迂回直進 停止

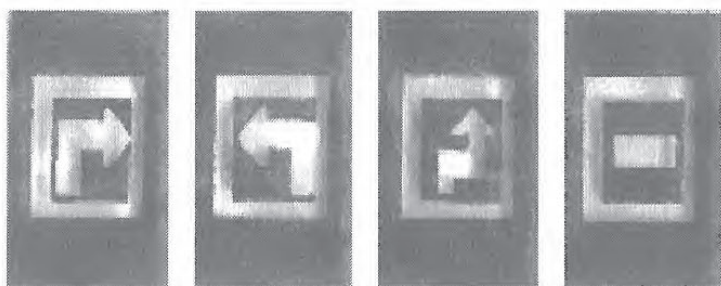


図2 標識認識機能の入力例

### 3. ロボットビジョンシステムの構成と基本実現手法

開発中のロボットビジョンシステムは図に示したハードウェアから構成され、その障害物検出機能と標識認識機能はそれぞれ図4と図5に示した基本手法で実現する。

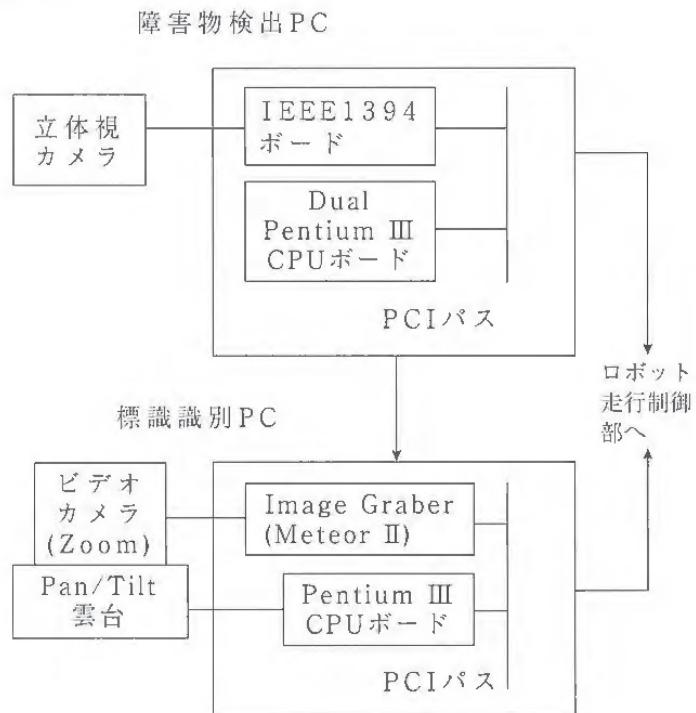


図3 ロボットビジョンシステム

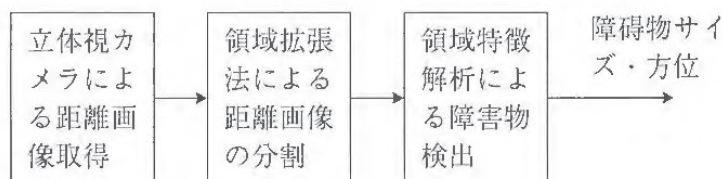


図4 障害物検出機能の実現手法

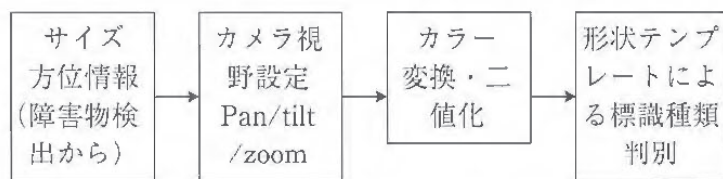


図5 標識認識機能の実現手法

### 4. 本年度の成果及び今後の予定

本年度には、ロボットビジョンシステムの開発において、システム設計と基本手法の提案を行い、その有効性を実験室環境で検証・確認した。ハードウェアの開発も完成した。

平成12年度には、前年度開発したハードウェアをベースに、障害物検出機能と標識認識機能の各ステップを実現するソフトウェアの開発、ロボットビジョンシステムのロボット走行制御への適用、性能評価及び修正を行う予定である。

# 共同作業時におけるコミュニケーション・エラーに関する実験研究

機械システム安全研究部 江川義之, 深谷 潔  
建設安全研究部 花安繁郎, 鈴木芳美, 庄司卓郎  
中村隆宏

## 1. はじめに

コミュニケーションによる労働災害の中に、同一の「時間」と「場所」で、異なる「作業目的」をもつ2チームが作業を行っていたために、安全に関する情報の伝達がうまく機能せず発生した災害がある。そこでこのような状況を模した実験を行い、コミュニケーション・エラーの発生過程を調べた。

## 2. 実験目的

2チームに別々に組立作業を行わせ、作業場所に限定領域を設定して、両チームのメンバーが同時進入してはいけないという「エリア・ルール」と、同時進入しようとした時、それを避けるため、相手方と必ずコミュニケーションをとらなければならないという「コール・ルール」の2つのルールを設定した。そしてルール違反の発現過程を調べることを目的とした。

## 3. 実験方法

図1に示したように、各チームの組立作業台、組立部品置場、組立図置場を異なる場所に配置し、一方のチームが組立部品を取りに行く時、他方のチームの領域の一部（以下クロス域）を通過するように設定し、このエリアに2名同時進入した時に、「エリア・ルール」違反発生とみなした。さらにエリア・ルール違反が発生しそうになった時は必ず双方がコミュニケーションを採る（相手を特定し、特定された相手は応答する）という「コール・ルール」を設定した。実験は12

回行い、そのすべてにエリア・ルールを設定した。コール・ルールは6回設定し、設定しなかった6回と、比較検討を行った。

## 4. 実験結果

エリア・ルール違反件数は全部で171件あった。その内訳はコール・ルールありで125件、なしで46件と、予想に反して、コール・ルールを設定した方がエリア・ルール違反の発生件数が多かった。

そこで、125件のコール・ルールありでコミュニケーションを行わなかった、すなわちコール・ルール違反を調べてみたら2件のみで、残りの123件はコール・ルールは守られていた。すなわち、コール・ルールが守られて両チームメンバーのコミュニケーションは採られていたが、クロス域に2名同時進入というエリア・ルール違反が123件も発生していた。

次に、エリア・ルール違反形態を調べてみたら、見越型161件、衝突型10件で見越型の違反形態が多かった（図2参照）。

実験では、エリア・ルールを遵守させるためにコール・ルールを設け、被験者には2つのルールが強制された。この時、被験者はコール・ルールの方を守り、エリア・ルールの方を無視する傾向が観察され、その違反形態として見越型の違反が119例で、全体の違反件数の70%を占める結果が得られた。

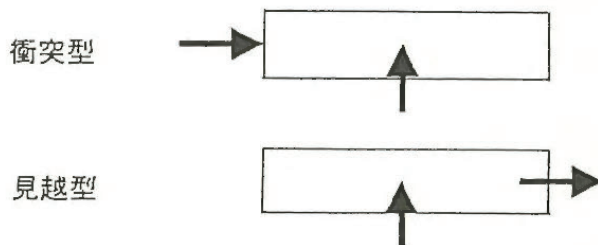


図2 エリア・ルール違反形態

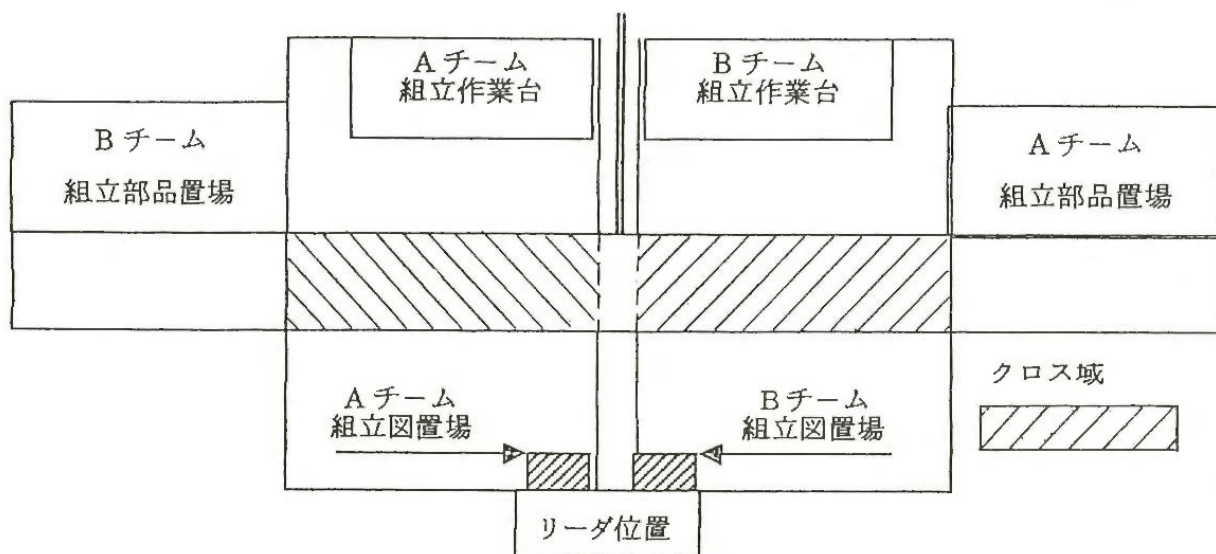


図1 実験平面図

# 建設作業員への質問紙調査による墜落災害の背景分析

建設安全研究部 鈴木芳美, 庄司卓郎  
機械システム安全研究部 江川義之

## 1. はじめに

建設現場の作業員を対象として、墜落災害防止に関連したアンケート調査の結果、得られた817回答に対して、多変量統計解析手法等を適用し、背景にある人的要因の抽出を試みた。

## 2. 分析結果と考察

### 2.1 アンケート回答者の状況

本アンケートへの回答者数を年齢別・職種別等で検討した。現在の我が国の建設業労働者数（推定）の年齢別あるいは職種別の構成割合と比べると、ほぼ同等な構成割合であり、母集団である建設作業員のサンプルとして妥当なものであると判断した。

### 2.2 安全帯不使用に関する集計結果

「安全帯を使わない場合があるとすればどんな場合か」という設問に対して16項目の選択肢から5項目を選択してもらった。選択割合の高い項目としては、「作業位置が低い場合」(71%)、「作業の邪魔になる場合」(66%)、「何度も付け替える場合」(54%)、「普段から使用しない」(52%)などであった。(図1)

### 2.3 安全帯不使用に関する分析結果

これらの回答結果に対して因子分析を適用して背景因子の抽出を試みたところ、表2に示すような主要な3因子が浮かび上がった。

職種別にこれら3因子の平均因子得点を調べると、因子1（日常的不使用因子）で足場工の得点が高いこと、因子2（疲れ・あせり因子）では職種による差異がみられないこと、因子3（作業能率因子）で鳶工・足場工の得点が高いこと、など(図2)が判明した。

また、年齢別・職歴経験別に見た場合では、因子1

(日常的不使用因子)、因子2（疲れ・あせり因子）とも年齢による違いは見られないが、因子3（作業能率因子）では高齢作業員・ベテラン作業員ほど得点は低く(図3)、安全帯の使用と作業能率低下とを結びつけてはいないと考えられる。

表1 因子分析結果

質問紙選択項目	因子1	因子2	因子3
	日常的 不使用	疲れ・ あせり	作業 能率
普段から使用していない	0.73	-0.03	-0.04
安全帯を携帯していない	0.39	-0.03	-0.10
疲れている場合	0.01	0.50	-0.09
雨が降りかけてきた場合	-0.05	0.48	-0.10
工程が遅れている場合	-0.18	0.36	-0.01
作業位置が低い場合	-0.17	-0.35	-0.12
何度も付け替える場合	-0.20	-0.07	0.70
作業の邪魔になる場合	-0.09	-0.28	0.41
工事完成が近い場合	-0.02	-0.00	-0.33
親綱が張られていない	-0.04	-0.10	-0.03
安全ネット張られてる	-0.13	-0.06	-0.05
作業が一段落した場合	-0.13	-0.06	-0.11
誰も見ていない場合	0.13	0.12	-0.02
急いでいる場合	-0.17	0.14	0.06
その他	-0.02	0.06	-0.02
固有値	1.82	1.70	1.49
寄与率	10.7%	10.0%	8.7%
累積寄与率	10.7%	20.7%	29.4%

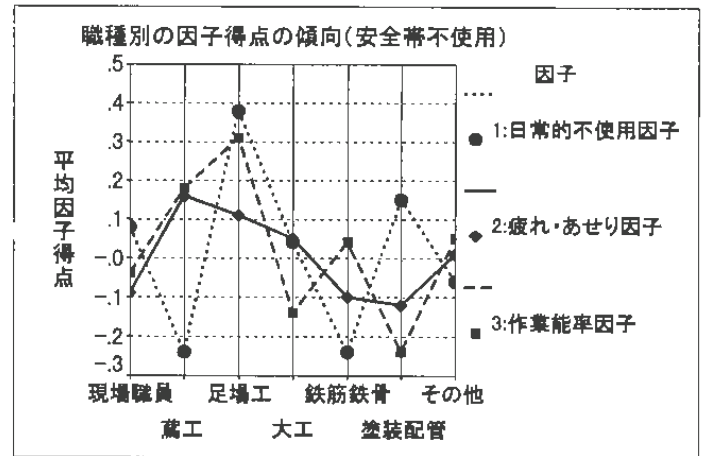


図2 職種別の平均因子得点

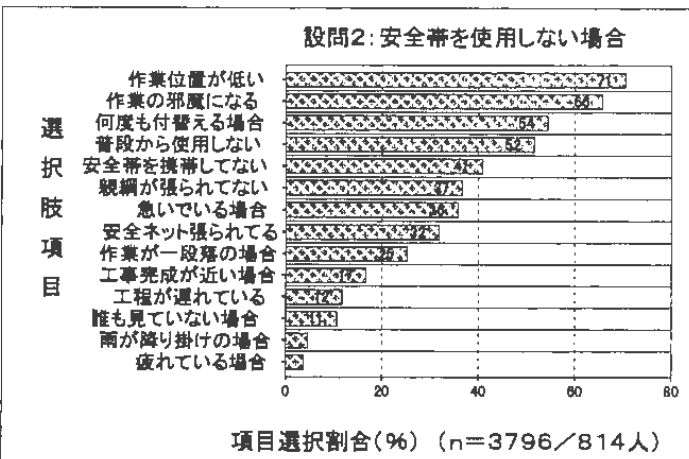


図1 安全帯不使用に関する回答結果

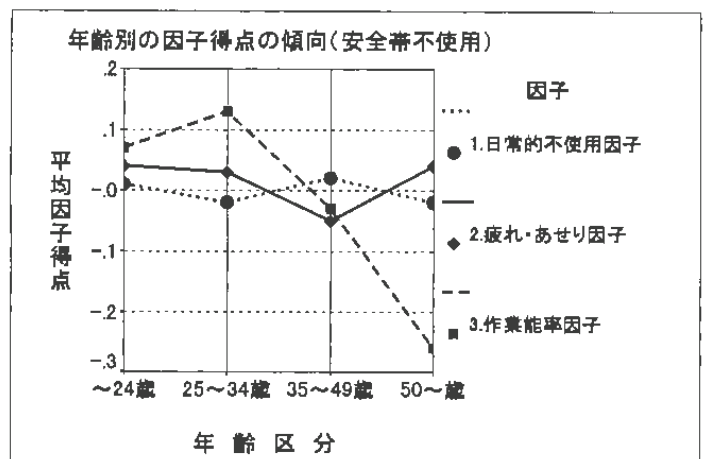


図3 年齢別の平均因子得点

## 建設業における組織レベルの安全施策に関する調査研究

建設安全研究部 庄司卓郎, 鈴木芳美, 中村隆宏  
花安繁郎

機械システム安全研究部 江川義之, 深谷 潔

### 1. はじめに

作業環境の整備、機器の改良等によるこれまでの努力の結果、一昔前に比べて労働災害発生件数は少なくなっている。しかし、ここ数年は横這い状態であり、今後さらに災害を減少させるためには、これまでの対策とは異なった新たなアプローチが求められている。本研究では、組織レベルでの安全施策が職場の安全風土を形成し、そこで働く職員や作業員の安全意識・態度の形成を通じて安全行動を誘発し、結果として企業の安全レベルが向上するという、いわゆる安全文化のモデルを仮定し、

- ・現場での安全活動、安全制度の実施状況
- ・組織レベルの安全施策や安全衛生担当の活動の実態
- ・作業員の安全意識・行動の構造
- ・上記3要因の関連

の解析を行い、作業員の安全意識の高揚と安全行動を誘発する要因の抽出を試みた。これらを通じて、組織レベルでの安全対策のあり方について検討することを目的とする。

なお、本研究は(財)電中研HFCとの共同研究である。

### 2. 研究方法

#### 1) 質問紙調査票の作成

予備調査の解析結果及び過去の研究の文献調査を基に安全文化を構成する概念的仮説モデルを構築した。同モデルに基づき、安全文化を構成する要因を明らかにするための質問紙調査票を作成した。

#### 2) 質問紙の配布と回収

1)で作成された質問紙を大手建設会社の本社安全衛生担当者(49社49部)とそのうちの12社の作業現場で働く現場職員と協力会社の職長(各300部)に配布した。回収後データを入力し統計解析を行った。回収率は約82%であった。

### 3. 研究成果

1) 現場での安全制度、安全活動、組織レベルでの安全活動、安全衛生部門の活動の間には正の相関があり、建設業において安全施策が組織レベルで包括的に行われている可能性が示唆された。

2) 安全衛生担当部門では業務規定や組織体制などが整っており、現場レベル、組織レベルとも安全施策は熱心に行われている。しかし、他の部門や現場とのコミュニケーションが必ずしも十分でない場合もあり、

そのことが安全施策の実施状況等に関する現場と本社の認識のズレとなって現れた可能性もある。

3) 安全意識の因子分析の結果、積極的な安全意識と消極的な安全意識、及び作業効率という安全と対極にある意識が抽出された。これらの因子が独立に抽出されたことから、安全意識の正負及び強弱は同じ軸上に存在するわけではなく、異なる次元として存在し、それぞれ別の要因によって影響されている可能性もあることが示唆された。

4) 安全施策と職員、作業員の安全に関する意識の間に関連が見られた。現場での熱心な安全活動の実施、安全に関する組織体制や管理者層の積極的な安全へのコミットメントが職員や作業員の安全意識の高揚につながる可能性が示唆された。

5) 安全衛生担当部門のスタッフ、現場職員、職長とも事故や労働災害の防止のためには、作業員や安全衛生担当部門だけでなく、企業レベルでの取り組みが必要であると認識している。

今後は組織風土や企業の事故率を含めた全体構造の把握を行い、企業の安全レベルの向上に寄与する要因の抽出を行っていく予定である。

表1 現場職員、職長の安全意識・行動の因子構造

因子名	主要な項目
作業前の安全に対する心構え	作業前に手順や注意点をチェック 作業前に心身状態をベストにする
効率重視	工程を守るために無理もやむを得ない 安全作業を守っても仕事が遅ければ意味がない
やりがい	この職場で働いていることを「ほこり」に思う 無災害記録をのばしていくことはやりがいがある
事故防止意識	設備、施設が十分なら事故は減る ルールや作業の基本を守れば事故は防止できる
作業中の安全に対する心構え	安全が確認できないときは、作業を中断する 仕事で判断に迷ったら安全なやり方の方をとる
早く仕事を終わらせず	他人より早く仕事を終わらせたい 早く作業を終わらせたい
他人事	事故は頻繁には起こらない 自分のやり方ならば絶対に事故を起こさない

表2 安全施策に関する項目間の相関

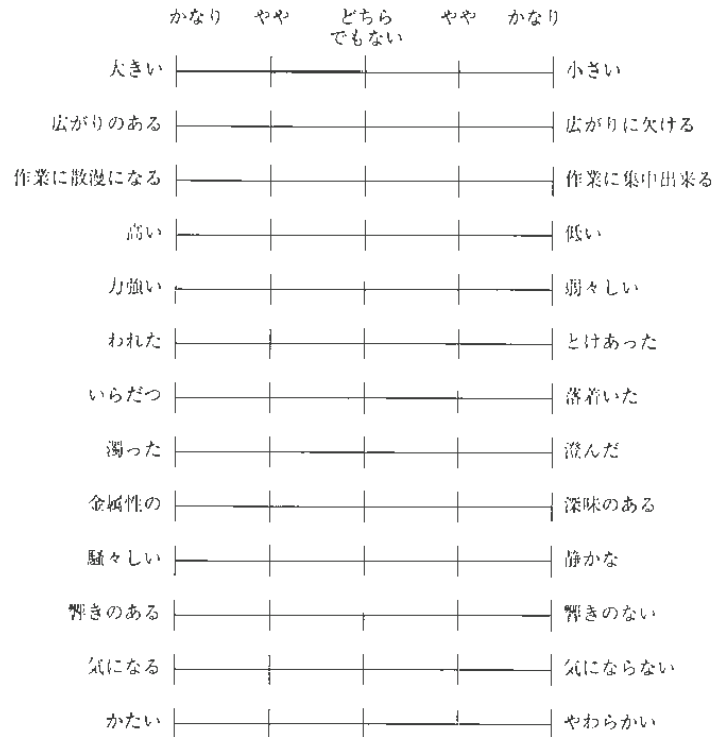
	安全制度スコア	安全活動スコア	組織レベルの安全活動	安全衛生担当の活動
安全制度スコア	---	**	**	**
安全活動スコア	0.635	---	**	**
組織レベルの安全活動	0.645	0.636	---	**
安全衛生担当の活動	0.495	0.643	0.801	---

※表中の数値は相関係数 \*\* : p<0.01

表1 騒音による影響調査アンケート

記入例：

●騒音を聴いた感触についてお尋ねします。  
次に示す項目について、該当するところに○をつけて下さい。



1. はじめに

原子力発電所では、年1回原子炉を止めて定期検査(定検)を行っている。定検作業は機器の分解点検などを短期間に集中して行われるが、保安機器など運転を継続している機器から発生する騒音に加えて作業にともなって発生する騒音は、作業者に負担を与えて作業ミスを生じることが考えられる。さらに騒音が作業情報の伝達を妨害することもある。そこで原子力発電所の定検作業中の騒音環境を改善するための調査研究を行うこととした。

2. 研究目的

作業を短期間に集中して行う定検作業における騒音は、作業者に負担を与えていると考えて、平成11年度は、定検現場の騒音測定、騒音による作業者の影響調査、作業に関するコミュニケーションの状況調査を行うことを目的とした。

3. 研究方法

A発電所の2号機の定検作業を調査対象とした。調査は平成11年に行った。

定検現場の騒音測定に関しては、暗騒音すなわち作業騒音や拡声器による放送音を除外した騒音を1次系80箇所、2次系270箇所(定検作業を行っていない1号機を含む)で測定した。さらに特定騒音すなわち作業騒音や拡声器による放送音を2号機の1次系5箇所、2次系9箇所測定した。

騒音による作業者の影響調査に関しては、アンケート(自由記述を含む)による調査を行った(表1参照)。

作業に関するコミュニケーション状況調査に関しては、作業中の作業者間距離の測定及びその距離において満足な了解度を得る音声レベルについて調査を行った。

4. 研究結果

<騒音測定結果>

作業騒音や拡声器による放送音を除外した暗騒音に関しては、全般的に85dB以下であった。しかし機器の冷却水が流れる配管・送排気ファン近傍では90dBを超える所もあった。特定騒音(作業騒音や拡声器の放送音)に関しては、最大値で79~93dBあった。大きな騒音の発生源は操作中のチェーンブロックとエアブローの騒音であった。拡声器による放送音の最大は98dBであり、10分間当りの放送回数は4~25回であった。

<騒音による作業者への影響アンケート調査結果>

現場騒音の音圧レベルが高くなるほど、「騒々しい」「大きい」等の訴え率が高かった。拡声器による放送音で「気になる」という訴え率が高かった。

自由記述の結果では「作業前の打合せの声が聞き取り難い」「建物から外に出ても騒音が耳に残る」「放送音に遮られて作業連絡の声が時々聞取れない」「騒音が反響していらだつ」等の訴えがあった。

<コミュニケーション状況調査結果>

定検作業中(談話妨害レベル67dB)の作業者間距離を計測すると、その平均は約2.2mであった。この作業者間距離をISO 9921「談話連絡の妨害レベルと連絡距離」に当てはめてみると、最大の叫び声をあげないとコミュニケーションの満足な了解度が得られない距離であった。

そこで、コミュニケーションの手段と作業者間距離を調査したところ、音声は平均1.3mの作業者間距離で用いられ、平均1.5m以上になるとジェスチャーやフェイスコンタクトが一部で使用されていた。調査より定検作業時における平均の作業者間距離2.2mでは音声によるコミュニケーションが難しいことが明らかになった。

なお本研究は、原子力安全システム研究所と行った共同研究である。

# シミュレーターを用いた掘削作業場面における眼球運動と注視対象

建設安全研究部 中村隆宏, 鈴木芳美, 花安繁郎  
 機械システム安全研究部 深谷 潔, 江川義之  
 物理工学安全研究部 呂 健

## 1. はじめに

人間は5つの感覚器官を複数的に働かせることによって、外界の認識を成立させている。五感を通じて獲得される情報のなかでも、視覚情報は大きな割合を占めている。

ショベル系建設機械による災害は、そのおよそ半数が機械と周辺作業員との接触によるものである。そのため、オペレーターが掘削作業中にどのような範囲から視覚情報を取り入れて視対象の認識を行っているか、について明らかにすることは、接触による災害防止対策を行う上で重要なポイントとなる。

## 2. 掘削作業中における眼球運動の測定

掘削作業中のオペレーターの視覚情報獲得範囲を明らかにする目的で、VRシミュレーターを用いた実験を行った。眼球運動の測定にはアイマーク・レコーダー(NAC EMR-VIII)を使用した。

実験では、以下の4点について注視点分布範囲の測定を行った。

- 1) 前進・後進操作時(前後方向への注視点分布範囲)
- 2) 旋回操作時(側方への注視点分布範囲)
- 3) 作業装置操作時(奥行き方向への注視点分布範囲)
- 4) 掘削作業における注視点分布範囲

## 3. 実験結果

図1に、一連の掘削作業中(掘削→左旋回→積み込み→右旋回→掘削……)における眼球運動の横(X軸)

方向成分の変化を示す(被験者A 35歳, オペレーター経験年数およそ5年)。

図1に示されるとおり、20000~40000msec, 及び70000~90000msecにかけてはそれぞれ左右への旋回操作時であり、左右への眼球運動が活発に行われていたのに対し、掘削時・積み込み時には左右への眼球運動がほとんど行われていない。

図2に、対象別の注視時間の割合(1~3回目の掘削作業の合計時間より算出)を示す。掘削作業においてはバケットに対する注視が最も多く(71.5%), ついで掘削地点(9.4%)であった。

こうしたことから、掘削作業中のオペレーターは周辺にくまなく目配りを行っている、というよりむしろ、旋回時を除いて左右に視点を移動させることが少なく、且つバケットを注視することが多いことが確認された。

図2 対象別注視時間の割合(掘削作業において)

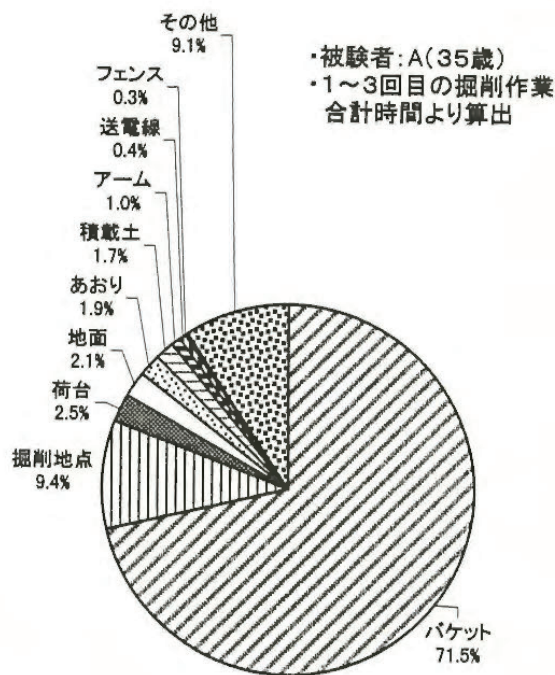
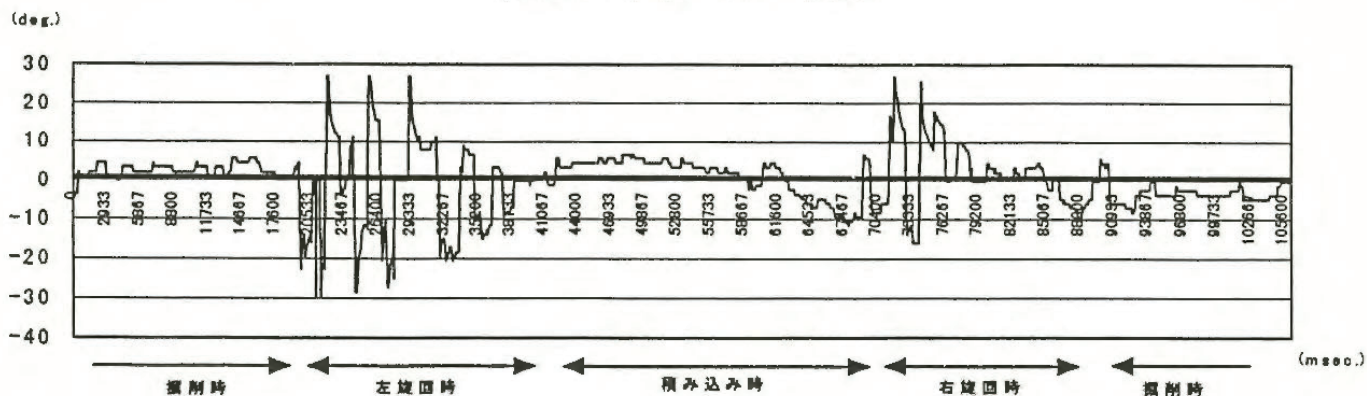


図1 掘削作業における眼球運動のX軸(横)方向成分の変化(被験者A, 積み込み1回目)



機械システム安全研究部 深谷 潔  
 物理工学安全研究部 呂 健

1. はじめに

土木建設業において、墜落について災害の多い建設機械について、掘削機との接触防止を対象に安全対策の研究を行った。

接触事故というものは、論理的には「人間の存在」と「機械の存在・運転」が重なることであり、事故防止策はそれを否定する「人間の不在」か「機械の不在・停止」の2つのアプローチがある。

機械側の対策は、運転者が人間が近くにいるときには運転しないという方式であるが、掘削機では後方の視野が制限されるので、運転者の後方確認を補助する対策を検討した。

人間側の対策は、掘削機に人を近付けないことで、そのための手段として簡易な柵を設け、この柵にセンサ機能を持たせる方式について検討した。

2. 運転者の後方確認補助のための画像処理センサ

カウンタウエイトのため後方の視野が制限されることが災害の一つの要因であるので、運転者の後方確認を補助する手段が必要になる。そのため、後方を監視するTVカメラの映像を画像処理して人間を検出するための基礎的方式について検討した。工学的には作業者に特定の色の着衣を着用させてその色を検出する方式が考えられるが、予定しない人間の接近等には対処できない。接近する物体、すなわち、直前の画像と比べて大きくなっている物体を対象に形状判定を行い人間を判別する方式を検討している。

3. 作業者の接近防止による対策

3.1 センサ機能付き柵

従来から、掘削機の旋回半径内は立ち入り禁止であり、コーン等を用いて立ち入り禁止区域を設定してきた。しかし、このコーンやポール等による区域設定は、作業者に立ち入り禁止の表示をするだけであって、掘削機側には何の効果も持たなかった。工場等においては、柵は単に人間の行動を規制するのみならず、その開口部の監視により機械の運転を制御することで接触災害を防止している。これに習って、コーンによる立ち入り禁止区域の設定を人間側のみならず掘削機の運転側に反映する手法について検討した。

3.2 センサ機能付き柵の構成

センサ機能付き柵の構成を図1に示す。基本的には、カラーコーンの間をケーブルで結んだものであり、そ

れに、通行のためにケーブルを外したり、コーンを動かしたりしたときに信号を遮断するセンサ機能を付加したものである。

信号ケーブルとカラーコーンは磁石式コネクタにより接続しているが、そのためケーブルへの接触により容易に外れる。またカラーコーンを持ち上げるとスイッチが切れ信号が遮断される。その信号の遮断により運転者に警報を与える構成である。

3.3 柵の高さに関する実験

コーンの高さは約70cmであり、くぐるには低く、またぐには高いと思われる。これを確認するために、種々の高さの柵に対して、くぐるかまたぐかを調べる実験を行った。その結果を図2に示す。柵を迂回させる高さは身長によって変化し、70cmでは、身長の高い人はまたぐことが判明した。このことから単なる一本棒の柵ではそこが通ってはいけなことを示す以上の効果は期待できないことがわかる。ただし、柵70cmでまたぐ場合には柵に接触しているので、通過は検出できると思われる。

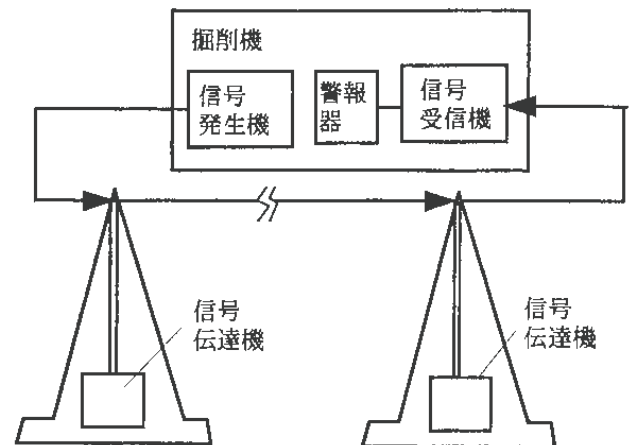


図1 センサ付き柵の構成

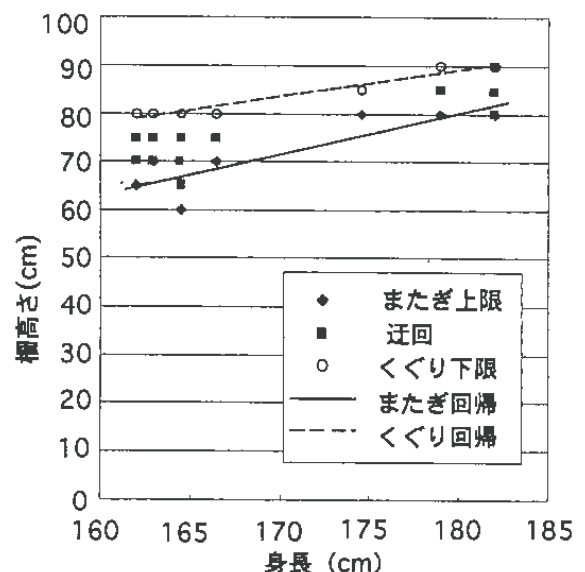


図2 身長と通過を防止できる柵の高さ

## 2.3 研究成果の発表

### 1) 誌上発表

題 目	発 表 誌 名	発 表 者
高齢社会対応の労働環境づくりに関する意識調査 その2 ー施設介護労働の実態調査と今後の高齢介護労働に ついてー	産業安全研究所研究報告 NIIS-RR-99	永田久雄 李善永
ジルコニウム粉じんの発火特性	同上	松田東栄 八島正明
タンタル粉の発火・爆発危険性	同上	松田東栄 山隈瑞樹
建設現場のコミュニケーションに係わる労働災害の 分析とその実験的検討	同上	江川義之 中村隆宏 庄司卓郎 深谷 潔 花安繁郎 鈴木芳美 本田 尚 佐々木哲也 大塚輝人
熱弾性効果を利用した応力測定に及ぼす熱伝導の影 響	同上	本山建雄 市川健二
電気化学マイグレーションによる配線板の絶縁低下 におけるSO <sub>2</sub> ガスの影響	同上	吉久悦治
ステンレス鋼溶接継手の熱疲労及び高温低サイクル 疲労挙動	同上	本田 尚
建設業における組織レベルの安全施策に関する調査 研究	同上	S.G.S. ラマン 庄司卓郎 鈴木芳美 中村隆宏 江川義之 深谷 潔 花安繁郎 他機関共同
メタン-酸素混合気における放電着火の分光学的測 定	同上	大澤 敦 石川敬一
液・液不均一系における酸無水物の加水分解反応速 度の評価	同上	藤本康弘
高温・高圧下でのエチレンオキシドの分解爆発特性	同上	水谷高彰 松井英憲
遠心模型実験による控え矢板を有する土止めの崩壊 メカニズムの検討	同上	豊澤康男 堀井宣幸 玉手 聡 他機関共同
生産・施工システムの総合的安全制御技術の開発に 関する研究	産業安全研究所特別研究報告 NIIS-SRR-No.20	池田博康 梅崎重夫



題 目	発 表 誌 名	発 表 者
<p>第2報：建設用ロボットの安全制御技術</p> <p>地震に対するクレーン等の安全対策の確立に関する研究</p> <p>仮設建造物の倒壊災害防止対策  建築用タワークレーンの地震に対する安全化  墜落災害防止に関する建設作業員へのアンケート調査結果  感電災害の防止対策  フレキシブルコンテナの静電気災害事例と帯電防止対策について  Development of conductive glass-lined equipment preventing accumulation of static charge  Computational assessment of electrostatic hazards due to charged powders in a vessel during filling operations  金属粉の爆発・火災危険性とその事件事例</p> <p>掘削工事における死亡災害の分析データから</p> <p>クレーン用ワイヤロープの損傷特性に関する研究  移動式クレーンの倒壊事故の防止  高温機器用材料の熱疲労強度  損傷検出知的構造による破壊事故防止技術の研究  最近の感電災害の傾向と事故の事例  わが国の建設労働災害の現状と今後の課題  土石流等による土砂崩壊災害の防止に関する研究  掘削工事に伴う土砂崩壊災害の防止に関する研究  移動式クレーン転倒災害に占める支持地盤の不安定要因  騒音評価と影響について  感電災害、絶縁不良による電気災害の防止  住宅居間におけるテーブル面照度に対する好ましい壁面照度に関する研究  ブラケットの強度に関する研究（その1）</p>	<p>産業安全研究所特別研究報告  NIIS-SRR-No.21</p> <p>労働基準，4月号，36～38  同上，38～40  労働基準，5月号</p> <p>安全，5月号，8～13  セイフティダイジェスト，45巻，2号，3～7  Journal of Electrostatics，Vol.46，103～108  Journal of Electrostatics Vol.46，153～161</p> <p>セイフティダイジェスト，45巻，4号，2～9  労働安全衛生広報，5月15日号</p> <p>労働基準，6月号，26～27  同上，28～29  同上，30～31  同上，32～33  電設資材，7月号  土木施工，Vol.40，No.7，13～17  労働基準，7月号  同上  労働基準，7月号</p> <p>鉱山保安情報，8月号  労働基準，8月号  照明学会誌，83巻，8A号，526～533  仮設機材マンスリー，8月号</p>	<p>佐々木哲也  清水尚憲  冨田 一  呂 健  大幢勝利  高梨成次  前田 豊  高梨成次  大幢勝利  吉久悦治  河尻義正  他機関共同</p> <p>大幢勝利  高梨成次  鈴木芳美  他機関共同</p> <p>本山建雄  児玉 勉</p> <p>児玉 勉  他機関共同</p> <p>大澤 敦</p> <p>松田東栄</p> <p>堀井宣幸  豊澤康男  玉手 聡  田中正清  前田 豊  吉久悦二  佐々木哲也  本山建雄  花安繁郎  堀井宣幸  豊澤康男  玉手 聡</p> <p>江川 義之  本山建雄  李 善永</p> <p>河尻義正</p>

題 目	発 表 誌 名	発 表 者
静電気帯電防止グラスライニング機器	化学装置, 8月号, 103~108	児玉 勉 他機関共同
化学反応工程における爆発危険性	労働基準, 9月号, 24	藤本 康弘
化学物質の分解爆発危険性	同上, 22~24	安藤 隆之
基礎工事の安全管理	基礎工, 9月号	豊澤 康男
爆発・火災を未然に防ぐには	INDUST, Vol.14, No.9, 18~20	板垣 晴彦
ブラケットの強度に関する研究(その2)	仮設機材マンスリー-9月号	河尻 義正
土の中空円筒供試体によるせん断試験方法	新規制定地盤工学会基準・同解説	堀井 宣幸
墜落災害防止に関する研究-高所における作業者の	労働基準, 10月号	江川 義之
動作特性	同上	深谷 潔
墜落災害防止に関する研究-高所における墜落防止	建築の技術・施工, 10月号, 25~32	杉本 旭
対策	労働基準, 11月号, 24~27	佐々木 哲也
国際安全規格と安全確保の原理	同上	本田 尚
信頼性工学による構造物の安全性評価	安全工学, 38巻, 6号, 365~372	杉本 旭
機械・設備の非破壊損傷診断	建設労務安全, 2000, 2月号	江川 義之
機械安全の原理とヒューマンファクター	住友化学技報, 1999, 71~75	梅崎 重夫
建設業における墜落・転落災害の発生状況と, 足場	労働基準, 12月号	永田 久雄
上の歩行動作における生理的・心理的負担について	静電気学会誌, 23巻, 5号, 227~	児玉 勉
フェールセーフ機能を備えた安全センサの開発	233	山隈 瑞樹
「転倒・転落災害防止に関する一連の研究」と「滑	静電気学会誌, 23巻, 6号, 292~	山隈 瑞樹
り」と評価技術」	296	玉手 聡
最小着火エネルギーと静電気放電による着火危険性	International Journal of Soil Dyna-	玉手 聡
障災害に関連した静電誘導現象と事例研究	mics and Earthquake Engineering,	玉手 聡
Numerical simulation of ground flow caused by seis-	18/7	玉手 聡
mic liquefaction	働く人の安全と健康, 51巻, 1号,	杉本 旭
安全管理講座“フェールセーフ”	42~43	杉本 旭
電磁ノイズによる災害防止	労働基準, 1月号	富田 一
静電気災害の防止	同上	山隈 瑞樹
爆発放散口の設計と設置	セイフティエンジニアリング,	板垣 晴彦
特別養護老人ホームでの介護労働の実態調査と今後	Vol.26, No.5, 19~22	板垣 晴彦
の高齢介護労働の検討	労働科学, Vol.75, No.12,	永田 久雄
爆発・火災災害の最近の傾向	459-469	李 善永
建設工事中の風による災害に関する現状分析	働く人の安全と健康, 2月号,	松井 英憲
国際規格による機械安全(5)-安全防護物の適用によ	12~15	松井 英憲
るリスク低減-	日本風工学会論文集, No.81,	大幢 勝利
	59~70	大幢 勝利
	クレーン, 3月号, 12~16	梅崎 重夫
		梅崎 重夫
		梅崎 重夫
		梅崎 重夫
		梅崎 重夫

2) 口頭発表 (国内)

題 目	発 表 会 名	年月日	発 表 者
欧米における最近の労働安全衛生政策	日本人間工学会安全とヒューマン・	11. 4. 8	花 安 繁 郎
共同作業時におけるコミュニケーション・エラー発生の可能性に関する研究	クレジット部会第23回例会 日本人間工学会第40回大会	5.15	江 川 義 之 深 谷 潔 鈴 木 芳 美 庄 司 卓 郎 中 村 隆 宏
建設業における組織要因が企業に及ぼす影響—その1 調査の概要について—	同上	5.15	庄 司 卓 郎 鈴 木 芳 美
建設業における組織要因が企業に及ぼす影響—その2 社是・社訓、組織風土と企業の安全度の関係—	同上	5.16	庄 司 卓 郎 鈴 木 芳 美 江 川 義 之 他機関共同
土石流の衝撃力に関する基礎的研究	平成11年度砂防学会通常総会	5.20	堀 井 宣 幸 豊 澤 康 男 玉 手 聡 他機関共同
工作機械の制御機構のフェールセーフ化に関するガイドライン	第29回安全工学シンポジウム	7. 1	杉 本 旭
コミュニケーション・エラーが原因である労働災害の分類	同上	7. 2	江 川 義 之 中 村 隆 宏 庄 司 卓 郎 深 谷 潔 花 安 繁 郎 鈴 木 芳 美
建設工事における墜落災害の背景としての人的要因へのアプローチ	同上	7. 2	鈴 木 芳 美 江 川 義 之 庄 司 卓 郎 他機関共同
墜落防護用エアバッグの緩衝性の評価	同上	7. 2	深 谷 潔
運転者の人間特性測定のための掘削作業のシミュレータの開発	同上	7. 2	深 谷 潔 中 村 隆 宏 江 川 義 之 呂 健 花 安 繁 郎
帯電物体の接地体への接近時に発生する放電ノイズの模擬実験	同上	7. 2	富 田 一
建設業における企業の組織風土と安全レベルに関する研究	第29回安全工学シンポジウム	7. 2	庄 司 卓 郎 鈴 木 芳 美 深 谷 潔

題 目	発 表 会 名	年月日	発 表 者
急激な基礎の沈下による移動式クレーンの転倒実験	第34回地盤工学研究発表会	7.21	江川 義之 中村 隆宏 花安 繁郎 他機関共同 玉手 聡 堀井 宣幸 豊澤 康男
一段式アンカー土留めの掘削に伴う変形・崩壊挙動	同上	7.22	豊澤 康男 堀井 宣幸 玉手 聡 他機関共同
斜め打設された深層混合処理の軟弱地盤改良効果	同上	7.23	堀井 宣幸 豊澤 康男 玉手 聡 他機関共同
イオンマイグレーション試験雰囲気下におけるプリント配線板の撥水性の変化	電気学会誘電・絶縁材料研究会	9. 8	本山 建雄 他機関共同
墜落災害防止に関するヒューマンファクター研究－建設作業員への質問紙調査データ	第15回産業組織・心理学会	9. 9	鈴木 芳美 庄司 卓郎 江川 義之
特別養護老人ホームにおける介護労働に関する意識調査	同上	9. 9	永田 久雄 李 善永
組織要因が企業の安全度に及ぼす影響について	同上	9. 9	庄司 卓郎 他機関共同
柔軟歪みセンサのフェールセーフ検定と軟接触式バンパーへの応用	第17回日本ロボット学会学術講演会	9. 9	池田 博康 清水 尚憲 他機関共同
複数作業者を対象とした安全確認システム	同上	9. 9	梅崎 重夫 他機関共同
受動要素を組み合わせた空気圧アクチュエータの安全性	同上	9. 9	杉本 旭 他機関共同
本質安全アクチュエータの条件とMR流体の適用	同上	9. 9	杉本 旭 他機関共同
導電性ガラスライニング機器の帯電防止効果Ⅱ	第23回静電気学会全国大会	9.17	児玉 勉 他機関共同
空気輸送粉体サイロにおける静電気放電の観測	同上	9.17	児玉 勉 他機関共同
空気輸送による帯電粉体の除電	同上	9.17	児玉 勉 他機関共同
オゾン分解活性炭を併用した放電プラズマによるNO <sub>x</sub> の処理	第23回静電気学会全国大会	9.17	山隈 瑞樹 他機関共同

題 目	発 表 会 名	年月日	発 表 者
建築用タワークレーンの耐震性に関する研究	建築学会学術講演会	9.18	高 梨 成 次 河 尻 義 正 他機関共同
補強要素が偏心配置された鉄筋コンクリート骨組の弾塑性ねじれ応答性状	同上	9.19	日 野 泰 道 他機関共同
模擬土石流流下時の土石流荷重に関する実験的研究	第54回土木学会年次講演会	9.22	堀 井 宣 幸 豊 澤 康 男 玉 手 聡 他機関共同
粘性土地盤における一段式アンカー土留めの掘削に伴う変形・崩壊挙動	同上	9.22	豊 澤 康 男 堀 井 宣 幸 玉 手 聡
建設工事墜落災害防止に関する質問紙調査結果について－第2報	同上	9.23	鈴 木 芳 美 江 川 義 之 庄 司 卓 郎 他機関共同
建設工事における風による災害に関する調査研究	同上	9.23	大 嶋 勝 利 他機関共同
英国HSEにおける最近の労働安全衛生政策動向	同上	9.23	花 安 繁 郎 他機関共同
基礎の沈下による移動式クレーンの転倒シミュレーション	同上	9.24	玉 手 聡 堀 井 宣 幸 豊 澤 康 男
ジルコニウム粉じん雲中を伝ばする燃焼帯の挙動	日本機械学会茨城地方講演会	9.24	八 島 正 明 松 田 東 栄
赤外線計測による応力拡大係数範囲の測定精度改善に関する研究	日本機械学会平成11年度材料力学部門講演会	10. 9	本 田 尚 佐々木哲也 大 塚 輝 人
ボルト軸力が摩擦接合継手の疲労強度に及ぼす影響	同上	10.11	佐々木哲也 本 田 尚
介護労働環境のユニバーサル化に関する研究	日本人間工学会関東支部大会	10.20	永 田 久 雄 李 善 永
動く歩道のユニバーサル化に関する研究－可変速式動く歩道について－	同上	10.20	永 田 久 雄 他機関共同
すべりの危険性の評価に関する研究－すべり発生時の足の動きについて	同上	10.20	永 田 久 雄 他機関共同
金属－含水塩混合物のDSC測定結果に及ぼす試料容器の影響	平成11年度火薬学会秋季大会	10.21	安 藤 隆 之
PCベースステレオビジョンを利用した走行前方障害物の検出	日本機械学会（第9回インテリジェント・システムシンポジウム）	10.28	呂 健 池 田 博 康 梅 崎 重 夫

題 目	発 表 会 名	年月日	発 表 者
パターンマッチングを応用したレーザー式安全確認装置の開発	同上	10.28	濱島京子 梅崎重夫 他機関共同
フェールセーフな教示機器を備えたブランキングシステムの開発	日本機械学会山梨講演会	10.30	梅崎重夫 他機関共同
新しい電磁式ワイヤロープ断線損傷検出法の開発	資源素材学会秋期大会	11. 2	田中正清 吉久悦二 佐々木哲也 本田 尚 他機関共同
安全確認のための計測系の基礎的要件ーガスクロマトグラフィーを用いた危険ガス検知システムー	第42回自動制御連合講演会	11. 6	杉本 旭 他機関共同
すべりの危険性の評価に関する研究ーすべり発生時の足の動きについて	関東支部人間工学会	11.20	永田久雄 李 善永 他機関共同
動く歩道のユニバーサル化に関する研究ー可変速式動く歩道について	同上	11.20	永田久雄 李 善永 他機関共同
介護労働環境のユニバーサル化に関する研究	同上	11.20	永田久雄 李 善永 他機関共同
コミュニケーション・エラーが原因である労働災害の分類	建設省技術研究会	11.25	江川義之
高温・高圧下でのエチレンオキサイドの分解爆発特性	第32回安全工学研究発表会	11.25	水谷高彰 松井英憲
自己反応性物質の熱測定の標準化に関する研究Ⅱ	同上	11.25	藤本康弘 安藤隆之 他機関共同
粉じん伝ば火炎における燃焼・未燃焼粒子の挙動	同上	11.26	八島正明
油圧式回転ロック装置の安全機構	同上	11.26	杉本 旭 他機関共同
ガスクロマトグラフィーを用いた危険ガス検知システムの正常性確認	同上	11.26	杉本 旭 他機関共同
サイロ流入粉体の除電方法に関する検討	同上	11.26	児玉 勉 他機関共同
帯電フィルムの沿面放電発生条件と試験方法	同上	11.26	山隈端樹 児玉 勉
構造部材の破壊確率評価システムの開発	第32回安全工学研究発表会	11.26	佐々木哲也

題 目	発 表 会 名	年月日	発 表 者
建設作業現場におけるコミュニケーションとエラー発生に関する実験的検討	平成11年度日本人間工学会関西支部大会	12. 4	中村 隆 宏 江川 義之 庄 司 卓 郎
墜落災害の背景にあるヒューマンファクター研究－建設作業員への質問紙調査－	同上	12. 4	鈴木 芳 美 江川 義之 庄 司 卓 郎 他機関共同
堆積した金属粉に沿った燃え広がり	第37回燃焼シンポジウム	12.10	八 島 正 明 松 田 東 栄
F A工場の物流ライン等に適用可能な人体と金属物体の識別装置の開発	日本機械学会第8回交通・物流部門大会	12.10	梅 崎 重 夫 他機関共同
F A工場の物流ライン等を対象とした実規模シミュレータの開発	同上	12.10	呂 健 梅 崎 重 夫 深 谷 潔 他機関共同
人間の接近検知による掘削機の接触防止	同上	12.10	深 谷 潔
静電気による粉じん爆発危険性とその評価	静電気学会静電気障災害防止シンポジウム	12. 1.19	児 玉 勉
異種冗長化技術を応用した産業用機械の安全対策手順の提案	日本機械学会北陸信越支部第37期総会・講演会	3. 7	梅 崎 重 夫
高濃度オゾンの分解火炎の伝播挙動	第9回日本オゾン協会年次研究講演会	3. 8	水 谷 高 彰 松 井 英 憲 他機関共同
沿面放電における接地背板の影響	2000年度第1回静電気学会研究会	3.10	山 隈 瑞 樹 児 玉 勉
SUS316鋼溶接継手の熱疲労挙動と $\delta$ -フェライト量の変化	機械学会関西支部第75期定時総会・講演会	3.17	吉 久 悦 二
組織因子と主要な安全性指標との関連性	日本電気学会	3.22	庄 司 卓 郎
事例検討からみた移動・公共空間の機能評価－高齢社会の福祉環境基準づくり－	日本衛生学会第70回総会	3.28	永 田 久 雄 他機関共同
穿孔法を用いた残留応力測定における応力分布の影響	日本機械学会材料力学部門分科会研究会合同シンポジウム	3.31	本 田 尚 他機関共同

3) 国際研究集会口頭発表

題 目	発 表 会 名	発表年月日	発 表 者
Dependence of Current and Induced Voltage due to Spark Discharge on Gap Length	1999 International Symposium on Electromagnetic Compability, Tokyo	1999. 5.17	H. Tomita
Simulation Failure Mechanism of Anchored Sheet Pile Walls in a Small Centrifuge	International Symposium on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground, Tokyo	1999. 7.21	Y. Toyosawa et. al.
Earth Retaining Structures under seismic Motion of Kobe Earthquake	International Symposium on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground, Tokyo	1999. 7.21	Y. Toyosawa et. al.
Thermomechanical and Isothermal Fatigue Behavior of Stainless Steel Type 316 Weldments	International Conference on Advanced Technology in Experimental Mechanics, Ube	1999. 7.23	E. Yoshihisa T. Honda S.G.S.Raman
Analysis and Prevention of Fatal Accidents Caused by Slope Failure in Cutting Work Sites	2nd International Conference on Landslides, Slope stability & the Safety of Infrastructures, Singapore	1999. 7.27	Y. Toyosawa
Analysis of Accidental Tantalum Powder Deflagration in Filter Bag Dust Collecting Device	1st Conference of the Association of Korean-Japanese Safety Engineering Society, Kyongju, Korea	1999.11.22	M. Yamaguma T. Matsuda
Mechanism of Development of Post Flames during the Dust Flame Propagation in a Vertical Combustion Duct	1st Conference of the Association of Korean-Japanese Safety Engineering Society, Kyongju, Korea	1999.11.22	M. Yashima T. Matsuda H. Matsui et. al.
Properties of Decomposing Explosion Pressure and Flame Propagation Behavior of Ozone/Oxygen Mixture in Closed Vessel	1st Conference of the Association of Korean-Japanese Safety Engineering Society, Kyongju, Korea	1999.11.22	T. Mizutani H. Matsui et. al.



題 目	発 表 会 名	発表年月日	発 表 者
Auto-ignition Limit of Pressure ratio for Flammable Liquids that Compressed Rapidly by High-Pressure Oxygen	1st Conference of the Association of Korean-Japanese Safety Engineering Society, Kyongju, Korea	1999.11.23	H.Itagaki
Behavior of Combustion zone propagating through zirconium dust clouds	1st Conference of the Association of Korean-Japanese Safety Engineering Society, Kyongju, Korea	1999.11.23	M.Yashima T.Matsuda
Effects of Static Electricity Discharge Conditions on Minimum Ignition Energy of Falling Dust	1st Conference of the Association of Korean-Japanese Safety Engineering Society, Kyongju, Korea	1999.11.23	M.Yamaguma T.Kodama et.al.
Probabilistic Assessment for Structural Changes in Industrial Accident Damages	8th International Conference on Applications of Statistics and Probability, Australia	1999.12.13	S.Hanayasu et.al.
Risk Assessment of Scaffolding System during Construction under Wind Storms	8th International Conference on Applications of Statistics and Probability, Australia	1999.12.15	K.Ohdo et.al.

#### 4) 著 書

書 名 等	著 者 名	出 版 社 名
産業安全技術総覧	田 島 泰 幸 他26名	丸善
新・産業安全ハンドブック	田 島 泰 幸 他10名	中央労働災害防止協会
化学プロセス安全ハンドブック	安 藤 隆 之	朝倉書店
建築改修工事監理指針	河 尻 義 正	建築保全センター
新安全工学便覧	田 中 正 清 松 井 英 憲 松 田 東 栄	コロナ社
安全管理技術	田 島 泰 幸 杉 本 旭 梅 崎 重 夫 池 田 博 康	工業調査会
新版計量鋼矢板設計施工マニュアル	豊 澤 康 男	計量鋼矢板技術協会

#### 5) 特 許

区 分	出願整理番号	発 明 の 名 称	発 明 者
特 許 出 願	平11-特096550	センサ及び安全装置	梅 崎 重 夫
特 許 出 願	平11-特91514	人体用落下衝撃吸収補助具	深 谷 潔
特 許 出 願	平11-特188048	回帰反射型の安全及び正常確認装置	梅 崎 重 夫
特 許 出 願	平11-特224390	ブランキングシステム	梅 崎 重 夫
特 許 出 願	平11-特252678	接触検出装置	杉 本 旭 池 田 博 康
特 許 出 願	平11-特298091	自己診断装置	梅 崎 重 夫
特 許 出 願	特願2000-060217	広大領域用の安全確認システム	梅 崎 重 夫
特 許 出 願	特願2000-071685	放電プラズマとオゾン分解機構を組合わ せたNOxの処理装置	山 隈 瑞 樹 児 玉 勉

## 第3章 関連業務

### 3.1 外部研究評価会議

当研究所では、平成7年に制定された科学技術基本法及びこれを受けて策定された科学技術基本計画の趣旨に則り、外部の専門家に当研究所の国立研究機関としての役割と研究課題について評価を頂き、これらの結果を今後の研究所の運営・研究管理に反映させることを目的に、平成9年度から「外部研究評価会議」を実施している。平成11年度は下記委員から構成される会議を2回開催した。第1回評価会議は平成11年11月4日に、産業安全研究所の将来構想の審議と2件の経常研究課題の評価について、第2回評価会議は平成12年3月22日に、独立行政法人化後の調査研究分野・課題の審議と、3つの新規提案プロジェクト研究課題の事前評価、および現在実施中の特別研究課題について中間評価を実施した。これらの審議の結果については報告書としてとりまとめ、その概要をインターネットにより公表している。

議長	黒田 勲	日本ヒューマンファクター研究所 所長
委員	上原 陽一	横浜安全工学研究所 所長 (横浜国立大学 名誉教授)
同	安達 洋	日本大学理工学部海洋建築工学科 教授
同	飯塚 義明	三菱化学株式会社横浜総合研究所生産工学研究所 リサーチフェロー
同	小川 鑽一	東京電機大学理工学部知能機械工学科 教授
同	大久保 堯夫	日本大学生産工学部管理工学科 教授
同	小林 英男	東京工業大学大学院理工学研究科機械物理工学専攻 教授
同	重松 開三郎	株式会社重松製作所 取締役会長
同	末岡 徹	大成建設株式会社技術研究所土質研究室 室長
同	高田 博尾	清水建設株式会社技術研究所特別プロジェクト 主席研究員
同	竹谷 是幸	中立電気株式会社専務理事
同	仁田 周一	東京農工大学工学部機械システム工学科 教授
同	深倉 寿一	株式会社東芝 電力・産業システム技術開発センター 技監
同	蓬原 弘一	日本信号株式会社研究開発センター安全研究室 室長・理事
同	若倉 正英	神奈川県産業技術総合研究所資源生活工学部 専門研究員

### 3.2 研究所主催行事

#### 1) 安全技術講演会

当研究所の研究成果は、産業安全研究所研究報告等及び学協会における誌上・口頭発表により公表するほか、昭和60年以来毎年、安全技術に関する講演会を開催し、研究成果の平易な解説や安全技術情報の提供を行っている。

平成11年度には、「爆発火災防止および墜落災害防止」をメインテーマとして、10月18日に産業安全技術館（東京）において、また10月26日には大阪産業安全技術館において、下記の演題により講演会を開催した。参加者数は、東京会場が135名、大阪会場が119名、計254名であった。

(1) 化学物質の分解爆発危険性	化学安全研究部	安藤 隆之
(2) 化学反応工程における爆発危険性	化学安全研究部	藤本 康弘
(3) 最近の墜落防護用保護具について	機械システム安全研究部	深谷 潔
(4) 墜落災害防止に関する仮設足場上の作業動態	機械システム安全研究部	江川 義之

#### 2) 研究委員会等

- (1) 土石流早期検知システムに関する検討会

平成10年度より実施している特別研究「土石流等による土砂崩壊災害防止技術に関する総合的研究」を効果的・効率的に推進するため、特に土石流早期検知システムについて、現状の監視・検知システム、警報システムにおける安全上の問題点や技術上の課題を把握することを目的として、平成11年度に下記の外部専門家からなる検討会を2回開催した。審議の結果は、本特別研究の報告書の一部として取りまとめられる予定である。

委員	小池 秀之	株式会社拓和 営業統括本部企画室 課長代理
同	高柳 則男	日本工営株式会社コンサルタント事業本部 技師長
同	名古屋 貢	株式会社光研 代表取締役
同	野崎 敏孝	株式会社オサシ・テクノス 専務取締役
同	牧屋 正史	坂田電気株式会社営業部 営業第二課長
同	渡辺 淳雄	日本無線株式会社

#### (2) マン・マシンシステムの最適設計法に関する調査研究委員会

平成9年度より実施している特別研究「生産・施工システムの総合的安全制御技術の開発に関する研究」を効果的・効率的に推進するため、特にマン・マシンシステムについて、各種の運転シミュレータや原子力発電所での安全評価システムの現状を把握して、当研究で開発を目指している安全設計支援システムの構築に反映させることを目的として、平成11年度に下記の外部専門家からなる委員会を2回開催した。

委員	田辺 安雄	株式会社東芝電力システム社 原子力プラント計画部	プラント安全設計担当主幹
同	山下 正弘	株式会社東芝電力システム社 原子力プラント計画部	プラント安全設計担当主査
同	牟田 仁	株式会社東芝電力システム社 原子力プラント計画部	プラント安全設計担当
同	斉藤 史彦	株式会社ソリッドレイ研究所	設計部長
同	原 智彦	株式会社ソリッドレイ研究所	営業係長

#### 3) 所内講演会

当研究所の研究活性化を図るため、全研究員の参加のもとに、外部専門家を講師とする所内講演会を平成11年度には下記により開催した。

平成11年7月8日	「正負コロナ理論と誘電性バリア放電」	豪州連邦科学産業機構 主席研究員	Richard Morrow
平成11年9月2日	「高電界の生体への影響」	エジプト アスート大学 教授	Mazem Abdel-Salam
平成11年10月4日	「ヨーロッパにおける移動式クレーンの設計・製造の現状」	ドイツ ケンプテン応用科学大学 教授	Georg Mayer
平成12年3月16日	「米国の風災害について」	米国 ノートルダム大学 教授	Ahsan Kareem
平成12年3月21日	「労働安全衛生管理－危険予知，故障解析及び安全」	KEMAオランダ シニアコンサルタント	Robert Ross

#### 4) 研究施設の公開および見学

##### (1) 研究施設の一般公開

科学技術庁主催による科学技術週間での活動の一環として、研究施設の一般公開を平成11年度は4月14日に実施した。当日は一般コース（午前）と専門コース（午後）に分けて17の研究施設公開を行った。参加者数は企業の安全担当者、学生、団体見学者を含めて、延べ196名（一般コース：105名、専門コース：91名）であった。

##### (2) 施設の見学

内外団体等から依頼があった場合、研究活動に著しく支障を及ぼさない範囲で一部研究施設の見学に応じ

た。

平成11年度の主な見学者は次のとおりである。

(i) 国外からの来訪者

韓国毎経産業環境研究院，労働安全セミナー研修生，韓国産業安全保健研究院，JICA産業機械工学コース研修員，アジア工科大学，タイ国カウンターパートJICA職員，タイ労働センターJICA職員，中国国家経済貿易委員会安全生産局，インドネシア労働安全衛生局，香港製造業訓練局

(ii) 国内来訪者

福島労働基準監督署，仮設工業会，福岡市水道局建設部，名古屋西労働基準監督署，慶応義塾大学大学院，大阪工業技術研究所，八重山労働基準監督署，参議院議院，安全工学協会，建築生産機械技術委員会

### 3.3 行政機関等に対する協力

#### 1) 災害調査等における協力

行政機関等名称	協 力 事 項	年月日	氏 名
北九州東労働基準監督署	日興技化株式会社工場における爆発災害に係る原因調査	11. 4.13	松井英憲 山隈瑞樹 水谷高彰
鳥取労働基準局	橋脚工事における鉄筋崩落災害の調査	11. 6.16 ～ 6.17	河尻義正
愛知労働基準局	東レ株式会社名古屋事業場における爆発災害原因調査	11. 7. 6 ～ 7. 7	板垣晴彦
福岡東労働基準監督署	浮きクレーンの転倒事故に係る現場調査	11. 9. 6 ～ 9. 7	前田 豊
広島労働基準局	三菱重工業株式会社広島製作所におけるコンテナクレーンの台風18号による転倒事故に係る現場調査	11. 9.25	前田 豊 高梨成次
名古屋東労働基準監督署	大須ういろ株式会社大高工場におけるボイラーの炉筒圧壊に伴う鋼材の組織変化等の調査	11.10.22	田中正清 吉久悦二 梅崎重夫
栃木労働基準監督署	つり足場崩壊に係る鑑定	12. 3.21	河尻義正 大幢勝利 日野泰道

#### 2) 委員会活動等における協力

行政機関等名称	協 力 事 項	氏 名
労働省 労働省 人事院 横浜地方海難審判庁 消防庁特殊災害室 労働省労働基準局 科学技術庁研究開発局 人事院	大規模建設工事計画審査委員会委員 労働安全衛生コンサルタント試験専門委員 安全専門委員 参審員 原子力施設等における消防活動用資機材の調査研究委員 大規模建設工事に係る審査委員による現地調査 高齢社会における製品・生活環境等のユニバーサル化に関する研究の総合推進委員 平成12年度労働基準監督官採用試験専門委員	河尻義正 所長他6名 田島泰幸 田島泰幸 杉本 旭 河尻義正 河尻義正  山隈瑞樹 佐々木哲也

### 3) 研修講師派遣等における協力

行政機関等名称	講演課題等	年月日	氏名
労働研修所	化学設備の基本的知識	11. 5.11	八島正明
労働研修所	土砂崩壊災害の防止対策（その1）	5.12	堀井宣幸
労働研修所	土砂崩壊災害の防止対策（その2）	5.12	豊澤康男
労働研修所	仮設建造物の強度計算（その1）	5.14	河尻義正
労働研修所	仮設建造物の強度計算（その2）	5.14	永田久雄
労働研修所	工学の基礎知識	5.14	永田久雄
労働研修所	工学の基礎知識	5.19	藤本康弘
長野労働基準局	工作機械の制御機構のフェールセーフ化に関するガイドライン	8月～9月	梅崎重夫
神奈川労働基準局	土砂崩壊等の労働災害の防止について	11. 9 11.11	豊澤康男
労働研修所	力学の基礎	9. 1	吉久悦二
労働研修所	クレーン等の構造力学	9. 2	前田 豊
労働研修所	産業用ロボットの安全性	12. 1.18	杉本 旭
労働研修所	爆発火災の防止対策	2. 4	藤本康弘
労働研修所	電気災害の防止	2.15	山隈瑞樹

### 4) その他

行政機関等名称	協力事項	年月日
労働省・厚生省 労働研修所	平成11年度Ⅰ種採用職員48名が基礎研修のために研究施設を見学 都道府県労働基準局安全・衛生課職員21名が研修のために研究施設を見学	11. 4.23 7. 8
労働省	計画課法規担当課長補佐ほか3名が独立行政法人化移行作業の参考のために研究所を視察	7.29
労働省	労働省安全課建設安全対策室担当官4名が研究業務視察のために来所	10.15
八重山労働基準監督署	沖縄労働基準局八重山労働基準監督署長ほか2名が研究業務視察のため来所	12.21
名古屋西労働基準監督署	名古屋西労働基準監督署第2方面主任監督官ほか2名の労災防止指導員が研修のために研究施設を見学	12. 2. 4
福岡水道局	福岡水道局建設部職員2名が機械設備安全性向上の研修のために研究施設を見学	2. 9 2.10
労働省	労働省下田智久安全衛生部長ほか7名が研究業務視察のために来所	2.15
福島労働基準監督署	福島労働基準監督署産業安全専門官及び労災防止指導員が研修のために研究施設を見学	2.21

### 3.4 外部機関との協力

#### 1) 学協会の委員会活動等への協力

学協会への協力としては、産業安全に関する調査・研究、規格・基準作成の委員会活動、講演会等に参加して当研究所の研究成果を反映するなど、学術・技術の面で学協会等の事業に協力しており、平成11年度には主として以下の学協会等に協力した。

##### ○学会・協会

安全工学協会，応用物理学会，火薬学会，高圧ガス保安協会，資源・素材学会，静電気学会，電気学会，電子情報通信学会，電気設備学会，土質工学会，土木学会，日本化学会，日本火災学会，日本学術会議，日本機械学会，日本靴医学会，日本建築学会，日本材料学会，日本心理学会，日本騒音制御工学会，日本人間工学会，溶接学会

##### ○防災関連団体

仮設工業会，建設業労働災害防止協会，鉱業労働災害防止協会，合板仮設安全技術協会，産業安全技術協会，中央労働災害防止協会，東京労働基準協会連合会，日本クレーン協会，日本ボイラ協会，日本労働安全衛生コンサルタント会，安全衛生技術試験協会，産業安全コンサルタント協会

##### ○その他の団体

宇宙開発事業団，エネルギー総合工学研究所，海洋科学センター，神奈川県工業技術研修センター，原子力安全システム研究所，鋼材倶楽部，四国地区電力需要者協会，損害保険料率算定会，電気絶縁材料工業会，日本海事検定協会，日本化学工業協会，日本機械工業連合会，日本橋梁建設協会，日本工作機械工業会，日本鋼索工業会，日本材料試験技術協会，日本産業機械工業会，日本産業用ロボット工業会，日本鍛圧機械工業会，日本電気協会，日本電気技術者協会，日本電機工業会，日本電設工業協会，日本能率協会，日本非破壊検査協会，日本粉体工業技術協会，日本保安用品協会，日本溶接協会，廃棄物研究財団，国際協力事業団，金属材料技術試験所，研削砥石工業会，総合安全工学研究所，動力炉・核燃料開発事業団，建築保全センター，製品安全協会，日本電子部品信頼性センター

#### 2) 技術指導，研究協力等

##### (1) 国内共同研究

協力先機関名	協力事項	年月日	協力者氏名
大阪大学人間科学部	墜落災害防止における建設作業員の意識構造に関する研究	10. 4.20 ～12. 3.31	鈴木 芳美 江川 義之 庄司 卓郎
東急建設株式会社技術本部 技術研究所	造成工事における地盤災害防止のための深層混合処理工法に関する研究	10. 5. 1 ～12. 3.31	堀井 宣幸 豊澤 康男 玉手 聡
東急建設株式会社技術本部 技術研究所	土石流の流下特性の解明と対策技術に関する研究	10. 5. 1 ～12. 3.31	堀井 宣幸 豊澤 康男 玉手 聡
横浜国立大学工学部物質 工学科	定量的リスク評価を指向した新しい災害統計分析手法の構築	10. 5. 1 ～13. 3.31	花安 繁郎



協力先機関名	協 力 事 項	年月日	協力者氏名
電力中央研究所ヒューマン ファクター研究センター	労働分野における組織の安全文化に関する基礎 的研究	10. 5. 1 ～12. 3.31	花安繁郎 鈴木芳美 深谷 潔 江川義之 庄司卓郎 中村隆宏
鹿島建設株式会社	衝撃吸収用エアバッグの開発及び評価に関する 研究	11. 5.14 ～12. 7.31	深谷 潔
新日本製鉄株式会社エンジ ニア事業本部	エア封入袋体による地盤崩壊防止効果に関する 研究	11. 6.21 ～12. 3.31	豊澤康男 堀井宣幸 玉手 聡
神鋼電機株式会社	施工作業用ロボットシステムの開発に関する研 究	11. 6. 1 ～13. 3.31	池田博康 梅崎重夫 清水尚憲 富田 一 呂 健
藤倉化成株式会社	ゴムセンサを用いる接触検知用バンパーの開発	11. 6. 1 ～13. 3.31	池田博康 清水尚憲
仮設工業会	くさび結合式足場の安全性に関する研究	11. 8. 1 ～13. 6.30	河尻義正 大幢勝利 高梨成次 日野泰道
原子力安全システム研究所	原子力発電所の定検作業中における騒音環境の 改善に関する研究	11. 9. 1 ～12. 2.15	江川義之
住友化学工業株式会社	人体検出用静電容量センサの開発に関する研究	12. 3. 1 ～13. 3.31	梅崎重夫

(2) 国際共同研究

協力先機関名	協 力 事 項	年 月 日
The Health and Safety Laboratory (英国)	暴走化学反応, ガス爆発及び粉じん爆発等による爆発 災害防止に関する研究	10. 1.14 ～13. 1.13
TNO Institute of Industrial Technology (オランダ)	安全制御装置に使用される配線板の絶縁劣化診断手法 に関する研究	11. 4. 1 ～12. 3.31
仁荷大学校工科大学 (韓国)	高電界による電子部材の絶縁劣化現象の解明と評価技 術の開発	11. 4. 1 ～12. 3.31
韓国産業安全保健公団産業安全保 健研究院	共同研究, 共同セミナー, 人的交流, 情報交換等の実 施	11.11. 2 ～14.11. 1

## (3) 科学技術特別研究員・STAフェロー・支援協力員等

研究テーマ	所属・職名	期間	氏名
労働環境における高齢者のための照明環境評価に関する研究	科学技術特別研究員	11. 4. 1 ～12. 3.31	李 善 永
LNG, LPG充填施設における安全設備の開発に関する研究	STAフェロー	11.12.26 ～12. 2.26	金 泰 煥
仮設建造物の耐風性に関する研究	重点研究支援協力員	12. 1. 1 ～12. 3.31	米 山 義 範
VR技術を応用したマン・マシンシステムの危険性評価に関する研究	重点研究支援協力員	12. 1. 1 ～12. 3.31	輿 水 ヒカル
コンピュータシミュレーションによる化学プロセスの危険性評価に関する研究	重点研究支援協力員	12. 1. 1 ～12. 3.31	韓 宇 燮
自動生産システムを対象としたフェールセーフデバイスの高度化に関する研究	重点研究支援協力員	12. 1. 1 ～12. 3.31	小 林 茂 信
制御装置の電磁ノイズ耐性評価技術の開発に関する研究	重点研究支援協力員	12. 1. 1 ～12. 3.31	小 松 順 磨

## 3) 外部機関の研究員の招へい

## (1) 海外研究員

研究テーマ	所属・職名	期間	氏名
LPG充填所でのガス漏洩拡散防止及び防爆構造に関する研究	韓国光云大学建築工学科教授	11. 6.28 ～ 7.25	廬 三 圭
高電界による作業員への電氣的影響の評価方法	エジプト アスート大学工学部電気工学科教授	11. 8.31 ～ 9.15	Mazen Abdel-Salam
限界状態法の適用による移動式クレーンの安全化に関する交流育成	ドイツ ケンプテン応用化学大学教授	11.10. 3 ～10. 9	Georg Mayer
高電界による電子部材の絶縁劣化現象の解明と評価技術の開発	韓国仁荷大学校工科大学電気工学科教授	12. 2. 7 ～ 2.14	李 德 出
同上	韓国仁荷大学校工科大学電気工学科	12. 2. 7 ～ 2.13	林 曝 範
仮設建造物の耐風安定性に関する研究	米国ノートルダム大学工学部土木工学部地質学科長教授	12. 3.10 ～ 3.20	Ahsan Kareem
安全制御装置に使用される配線板の絶縁劣化診断手法に関する研究	ケマ・オランダ・通信配電部門プロダクトマネージャー	12. 3.20 ～ 3.26	Robert Ross

(2) 流動研究員

研究テーマ	所属・職名	氏名
土石流等による労働災害防止対策に関する総合的研究	武蔵工業大学工学部土木学科教授	片田敏行

4) 外部機関への研修

研修区分	研修先	研修内容	期間	氏名
科学技術庁日豪科学技術交流研究員	豪州連邦科学産業研究機構	放電中の電子エネルギー輸送過程に関する研究	10.10.31 ～11.10.30	大澤 敦
科学技術庁派遣長期在外研究員	ポーランドワルシャワ工科大学熱工学部	希土類金属の反応性評価法の開発に関する研究	11. 9. 1 ～12. 8.31	大塚輝人
科学技術庁派遣中期在外研究員	カナダウィンザー大学工学部	高分子絶縁材料の表面劣化挙動に関する研究	12. 1.10 ～12. 3.25	本山建雄

5) 外部機関の研究生の受託

区 分	受託件数	人員数
大学関係の研究生（国内）	15	16
大学関係の研究生（海外）	5	5
大学関係を除く機関の研究生（国内）	7	11
合 計	27	32

6) 国際協力, 海外派遣等

(1) 海外派遣

機関等の名称	協力事項等	年月日
ISO/TC96国際会議	機械システム安全研究部前田豊が日本クレーン協会の依頼によりISO/TC96国際会議に日本代表として出席のため大韓民国へ出張	11. 4.13 ～ 4.21
スイス連邦工科大学ほか	建設安全研究部河尻義正が科学技術庁二国間協力専門家派遣制度によりスイス, ドイツ, オランダへ出張	9. 1 ～ 9.30

機関等の名称	協力事項等	年月日
韓国産業安全保健公団 産業安全保健研究院 ソウル産業大学校ほか	化学安全研究部松井英憲が韓国産業安全保健研究院との研究交流のため韓国へ出張 物理工学安全研究部兎玉勉、山隈瑞樹が日韓二国間国際共同研究交流のため韓国へ出張	11.11.18 ～11.22 11.18 ～11.24
TNO Institute of Industrial Technology ほか	物理工学安全研究部本山建雄、呂健が日蘭二国間国際共同研究交流のためオランダへ出張	12.11 ～12.18
シンガポール人材開発 省ほか	研究企画調整課花安繁郎がILO労働安全衛生マネジメントシステムガイドライン策定に向けた調査研究のためシンガポールに出張	12. 1.18 ～ 1.22
SUVA (スイス) ほか	物理工学研究部富田一が機械の使用上の情報等に関わる海外調査のためフランス、スイス、ドイツへ出張	1.22 ～ 1.30
INRS(フランス)ほか	建設安全研究部鈴木芳美が中央労働災害防止協会国際安全衛生センターの依頼により情報収集調査ミッションのためフランスほかへ出張	3. 7 ～ 3.13
メキシコ労働社会保障 省ほか	物理工学安全研究部山隈瑞樹が中央労働災害防止協会国際安全衛生センターの依頼により情報収集調査ミッションのためメキシコ、カナダへ出張	3.20 ～ 3.30

(2) 海外からの来訪者

機関等の名称	協力事項等	年月日
インドネシア労働安全 衛生局	準高級カウンターパート研修員としてインドネシア労働安全衛生局長 Mr. Gultom Albinerが視察のため来訪	11. 7.30
アジア工科大学	アジア工科大学教官1名が研究視察のため来訪	8.31
タイ労働安全衛生セン ター	カウンターパート研修生としてタイ労働安全衛生センター機械安全課長 Mr. Pipat Nopteepkangwanが研修のため来訪	9. 7
タイ労働安全衛生セン ター	タイ国労働安全衛生センター拡充計画に係るカウンターパート研修員としてタイ労働安全衛生センター労働技官 Mr. Nakom Jirawatangkanaが研修のため来訪	9.16
中国職場指導者訪日代 表団	中華人民共和国国家経済貿易委員会安全生産局施衛祖所長を含め8名が視察のため来訪	9.24
労働安全衛生セミナー	JICA労働安全衛生セミナーの研修員19名及びコースリーダー1名が研修のため来訪	10. 7
韓国産業安全保健研究 院	韓国産業安全保健研究院院長ほか3名が共同研究協定締結のため来訪	11. 2
韓国毎経産業環境研究 員	韓国毎経産業環境研究員建設安全研修団等25名が3回にわたり研修のため来訪	11.30 12. 1.27
香港製造業訓練局	香港製造業訓練局視察団14名が研修のため来訪	2.16 3.31

## 第4章 産業安全技術館等業務

### 4.1 産業安全技術館の活動

産業安全研究所では付属施設として産業安全技術館を設け、研究成果ならびに災害防止に関する各種の資料を整備して、広く安全知識、安全技術情報の提供と普及を図るとともに、安全技術相談に応じている。

産業安全技術館（東京）の施設の概要は次のとおりである。

第1展示場	1階	336m <sup>2</sup>	第2展示場	2階	573m <sup>2</sup>	図書室	1階	95m <sup>2</sup>
第3展示場	2階	376m <sup>2</sup>	特別展示場	2階	333m <sup>2</sup>	見学指導室	1階	146m <sup>2</sup>

1階第1展示場は主に機械関係の展示で、機械的な潜在危険の認識に関する展示に始まり、プレス機械の安全問題の変遷、最新のフェールセーフ型を始め各種型式のプレス機械や木工機械の安全装置、及び防護柵の間隔測定、電磁ノイズ誤動作に関する体験装置、ならびに作業能率比較体験装置などから構成されている。2階第2展示場では、「高齢者の災害防止」の一環として、身体機能を来館者自身がチェックできる「立つ」（平衡感覚）、「聞く」（聴力）、「見る」（視力）の体験装置、産業安全に関するクイズに挑戦する対話型質問装置（Q and A）、安全衛生教育用各種ビデオを自動上映するビデオシアター、保護具をはじめ建設、感電、静電気、爆発などの各種災害防止のためのコーナーがあり、ここには静電気の発生やガス、蒸気、粉じんの爆発を実験で理解させる装置と防爆電気機器のモデル展示などを行っている。また、第3展示場では、仮設構造物安全コーナー、自動機械安全コーナー、安全人間科学コーナー、電磁ノイズ対策コーナー、材料安全コーナーを設け、より専門的な安全技術の展示を行っている。2階特別展示場では労働災害の動向や新しい災害に対する安全技術など、時期に応じたテーマを選び、一定期間展示している。安全技術情報コーナーでは、安全に関する技術資料、雑誌などを収集し、自由に利用することができる。

平成11年度における産業安全技術館の主な活動は次のとおりである。

#### (1) 常設展示

第1、第2及び第3展示場にて前述のとおり常設展示を行った。

#### (2) 特別展示

平成11年度は、産業安全技術館特別展「産業現場における安全標識」を平成11年3月1日～4月30日に開催した。

社会の情報化・ハイテク化が進むほど、安全に対する作業者の認識は厳しいものとなり、安全性の基準もより高いレベルが要求されるようになってきているが、安全はハイテク機器や厳しい基準だけで守られるものではない。作業員自身による安全への認識があって始めて実現するものである。「どこにどのような危険が存在するのか」、「作業するに当たり、どのようなことに注意すればよいのか」、「今使用している安全用具はどのような効果があるのか」等を作業始業時、または作業中に常に認識することを通して作業員自身の安全意識レベルの向上を図ることが重要である。このような機能を果たすためのものが安全標識であり、この特別展では、様々な作業環境において実際にどのような安全標識が使用されているかを学習することを目的とした。

展示構成は、安全標識の実際、安全標識（デザイン）の歴史（変遷）、スクリーン印刷制作工程とした。また、主な展示資料は、JISHA安全標識、安全イラスト標識、指導標識、禁止標識、危険標識、注意標識、作業主任者職務表看板、管理表示板、短冊型標識、指名標識、衛生標識、警告表示ラベル、有機溶剤標識、酸欠危険標識、有害物質標識、特定化学物質標識、ロボット周辺標識、フォークリフト関係標識、クリーンルーム関係標識、レーザー標識、放射能標識、英文イラスト標識、路面貼用ステッカー、危険予知活動用品であった。

#### (3) 安全に関する技術相談

安全に関する技術相談（253件）に応じたほか、団体来館者に対して安全教育として見学指導・解説を行っ

た。

(4) 開館日数及び来館者数

開館日数 244日 (平成11年4月1日～平成12年3月31日)

来館者数 35,586名 (うち団体97組, 1,532名)

(5) 国外からの来館者及び国内来館団体

(i) 国外からの来館者

韓国毎日経済新聞社附属毎経研究院, 三星電子, 中国石油天然ガス集团公司, 中災防作業環境改善技術コース研修生, 中国職場指導者研修生, JICA国際安全衛生実務研修生, 中災防労働安全衛生セミナー研修生, 香港OSHC調査団, インドネシア労働安全衛生局, 海外労使関係行政セミナー研修生, 台湾行政院劳工委員会, 海外技術者研修会研修生, 台湾安全研修生, 韓国一般見学者, 台湾一般見学者 (234名)

(ii) 主な国内来館団体

(イ) 教育・研究・行政機関

東京国際郵便局, 都立交通局, 東京都水道局, 東京電力平塚工務所, 東京電力銀座支店, 東京電子専門学校, 東洋大学, 順天堂大学, 川越市役所, 神奈川県立横須賀高等職業技術校, 神奈川県立川崎高等職業専門技術校, 神奈川県立向丘工業高等学校, 千葉県立京葉高等学校, 府中専門学校, 海難審判研修生, 鳩ヶ谷商工会, 戸田市商工会, 朝霞市商工会, 労働基準協会

(ロ) 一般事業場

本田技研工業(株), 桂城建設(株), 川鉄工業(株), 日本総合住宅(株), NTT-TE東京(株), 関東車両整備(株), シモン(株), 興研(株), 東武電設工業(株), 富士電機綜設(株), 川岸工業(株), 極東開発(株), 川崎陸送(株), RDメックス(株), JR東海, 山武ハネウエル(株), 科学工芸社(株), コムスン・ビジネス, 昭和電工(株), 富士合成(株), 日本ハム(株), 日本コンクリート(株), 富士通電装(株), トステム(株), 大林組(株), 理研オペティック(株)

## 4.2 大阪産業安全技術館の活動

東京産業安全技術館と同様な目的で大阪産業安全技術館が設立されており, 平成8年8月30日に新庁舎が竣工するとともに新装オープンした。

大阪産業安全技術館の施設の概要は次のとおりである。

1階展示ホール	79m <sup>2</sup>	2階特別展示場	75m <sup>2</sup>	2階事務室	79m <sup>2</sup>	2階図書室	32m <sup>2</sup>
2階見学指導室	77m <sup>2</sup>	3階常設展示場	395m <sup>2</sup>	6階講堂	194m <sup>2</sup>		

2階展示ホールには, 様々な機械の要素をイメージしたボールサーカスによるシンボルディスプレイがある。2階の特別展示場では, 労働災害の動向に応じた最新の安全技術など, 時期に応じたテーマについて一定期間展示する。見学指導室・図書室では, 安全に関する技術資料, 雑誌などを収集し, 来館者は自由に利用することができる。3階の常設展示場には, 8つの展示コーナーを設け, 安全に関する実物の装置や模型, 映像等による体験・対話型の展示資料を主体とした安全技術の解説を行っている。各コーナーにおける主な展示資料は以下のようである。

機械安全コーナー	実物ロボットによる模擬工場, プレス実機と安全装置, 同シミュレータ
爆発災害防止コーナー	デーヴィの安全灯, スパークエネルギー発生装置, 自動ガス爆発装置, 粉塵爆発実演装置, 各種ガス検知器類, 防爆電気機器類, 安全器類
静電気安全コーナー	帯電除電模擬装置, 摩擦帯電・静電誘導実験装置, 各種測定器・対策機器材料
感電災害防止コーナー	感電危険実演装置, 漏電遮断機動作模型, 各種計器類
建設災害防止コーナー	型枠支保工, 土留め支保工, 座屈柱, ゴンドラ模型, 安全ネット, Q & A対話装置
安全人間科学コーナー	視覚・聴覚診断評価システム, 自立機能評価システム, 階段・スロープ体験装置
保護具コーナー	各種保護具の展示
ビデオシアターコーナー	各種安全教育ビデオのボタン選択による自動上映

平成11年度の大阪産業安全技術館の主な活動は以下のとおりである。

(1) 常設展示

常設展示場にて前述のとおり常設展示を行った。

(2) 特別展示

平成11年度は、大阪産業安全技術館特別展「墜落災害防止用器具，安全带」を平成11年10月1日～平成12年3月31日に開催した。

墜落災害は平成10年度事故の型別労働災害発生状況を見ても全産業で20.1%と最も多く発生している。墜落災害防止のためには、高所での作業の必要性を検討することが大前提であるが、どうしても高所での作業を行う必要がある場合は、作業床，足場の整備，墜落防止のための安全带，安全ネットの着用・設置等が必要になる。これらの墜落防止対策の中で重要な手段となる安全带に関する構造指針が20数年ぶりに改定された。本特別展は、構造指針の改定内容を明確にすることを目的として、具体的な安全带の紹介とその他墜落防止のための安全対策について紹介を行った。

展示構成は、安全带の紹介，墜落防止器具の紹介とした。主な展示資料は，1種安全带，2種安全带，3種安全带A，3種安全带B，親綱支柱通過装置，仮設用墜落防止用器具，各種作業床であった。

(3) 安全に関する技術相談

安全に関する技術相談(33件)に応じたほか、団体来館者に対して安全教育としての見学指導・解説を行った。技術相談の主な内容は、遠心分離機の安全，水中におけるアーク溶接，防護冊の構造，高熱物による爆発，作業床の誘電性，粉じんの静電気対策，静電気用作業服，石綿作業，光センサーの安全性，水平親綱，安全ネットについて，等であった。

(4) 安全教育研究会及び労働衛生教育研究会

(i) 安全教育研究会

安全教育研究会（「機械安全の国際規格」ほか安全教育シリーズビデオ作品3本の上映，および講演「安全衛生に関する国際規格の動向と国内の対応」）を6月25日に開催した。参加者数は，48社，55名であった。

(ii) 労働衛生教育研究会

労働衛生教育研究会（「生活習慣病の自己チェック」ほか労働衛生教育シリーズビデオ作品3本の上映，および講演「衛生スタッフの行う健康診断のフォローとプライバシー対応」）を9月21日に開催した。参加者数は，46社，52名であった。

(5) 開館日数及び来館者数

開館日数 244日（平成11年4月1日～平成12年3月31日）

来館者数 4,142名（うち団体22組，587名）

## 付 録

### 1) 産業安全研究所年譜

- 昭和16年 伊藤一郎氏その他民間有志から国立安全研究機関の設立について提唱され、安全研究所の開設を具体化するため、官民合同の設立委員会が設置される。
- 昭和17年 1月30日 厚生省産業安全研究所が開設され、初代所長に厚生技師武田晴爾が就任。
- 昭和17年11月 1日 厚生省研究所産業安全部と改称される。
- 昭和18年 9月 8日 附属産業安全参考館の開館式を挙行、同10日より一般公開が開始される。
- 昭和22年 9月 1日 労働省の発足と共に厚生省より移管され、労働省産業安全研究所と改称される。組織は所長、庶務課、安全科、機械科、土木科、建築科、化学科と改められる。
- 昭和24年 6月20日 安全科が参考館課と改称される。
- 昭和24年 8月27日 武田所長退官し、化学科長中島誠一が所長に就任。
- 昭和27年 3月20日 中島所長退官し、福島労働基準局長高梨湛が所長に就任。
- 昭和27年 9月 1日 組織が所長、庶務課、指導課、機械課、土木建築課、化学課、電気課と改められる。
- 昭和27年11月15日 開所10周年記念式典が当所講堂で労働大臣ら臨席のもとで行われる。
- 昭和28年12月16日 産業安全参考館が産業安全博物館と改称される。
- 昭和29年 3月16日 2部及び博物館課を設置し、所長、庶務課、特殊技術指導部（指導課、博物館課）、研究部（機械課、土木建築課、化学課、電気課）に改組される。
- 昭和36年 4月 1日 土木建築課が土木課、建築課に改組される。
- 昭和36年 4月12日 大阪市森ノ宮東之町に大阪産業安全博物館を開設し、一般公開が開始される。
- 昭和39年 7月 1日 高梨所長退官し、労働省労働基準局安全課長山口武雄が所長に就任。
- 昭和40年 4月 1日 研究部に防爆課が新設される。
- 昭和41年12月23日 東京都清瀬市の日本鋼管附属病院敷地を買収し、屋外実験場とする。
- 昭和42年 1月17日 旧田町庁舎改築のため、屋外実験場の一部を仮庁舎として移転。
- 昭和43年 6月15日 山口所長労働省安全衛生部長に転任し、労働省安全衛生部安全課長住谷自省が所長に就任。
- 昭和45年 5月 1日 2部7課を廃止し、機械研究部、土木建築研究部、化学研究部、電気研究部の4研究部、博物館課及び庶務課の2課に改められる。
- 昭和45年 5月18日 住谷所長退官し、電気研究部長上月三郎が所長に就任。
- 昭和46年 3月31日 産業安全会館竣工。
- 昭和46年 4月23日 産業安全博物館を産業安全技術館と改称し、博物館課を安全技術課と改称する。
- 昭和46年10月 1日 産業安全技術館が田町新庁舎に開館される。
- 昭和49年 6月 4日 上月所長退官し、機械研究部長秋山英司が所長に就任。
- 昭和52年 3月22日 清瀬実験場に機械実験棟が竣工。
- 昭和52年 4月 1日 秋山所長退官し、北海道労働基準局長川口邦供が所長に就任。
- 昭和58年 4月 1日 川口所長退官し、土木建築研究部長森宜制が所長に就任。
- 昭和59年 3月31日 清瀬実験場に機械安全システム実験棟が竣工。
- 昭和60年 2月 1日 森所長退官し、機械研究部長前郁夫が所長に就任。
- 昭和60年 3月28日 清瀬実験場に化学安全実験棟が竣工。
- 昭和60年 6月25日 第1回産業安全研究所安全技術講演会が田町庁舎8階講堂で開催される。
- 昭和60年 9月17日 田町庁舎内産業安全技術館一階部分が改装される。
- 昭和61年 5月29日 皇太子殿下清瀬実験場へ行啓、研究施設等を御視察になる。
- 昭和62年 1月19日 田町庁舎内産業安全技術館2階の建設安全関係の展示室が改装される。
- 昭和63年 3月29日 田町庁舎内産業安全技術館2階の化学・電気安全関係の展示室が改装される。
- 昭和63年 5月31日 清瀬実験場に建設安全実験棟が竣工。
- 平成 2年 4月 1日 前所長退官し、田中隆二が所長に就任。



平成 2年10月25日 清瀬実験場に電気安全実験棟及び環境安全実験棟が竣工。  
平成 3年 3月31日 田中所長退官。  
平成 3年 4月 1日 土木建築研究部長木下鈞一が所長に就任。  
平成 4年 4月30日 清瀬実験場に材料・新技術実験棟が竣工。  
平成 4年 5月30日 清瀬実験場に総合研究棟が竣工。  
平成 4年 6月19日 総合研究棟及び材料・新技術実験棟落成式並びに設立50周年記念式典挙行。  
平成 4年 7月 1日 産業安全研究所を田町庁舎から清瀬実験場に移転。  
平成 5年 5月 1日 改築のため大阪産業安全技術館が仮庁舎に移転。  
平成 6年 4月 1日 木下所長退官し、化学研究部長森崎繁が所長に就任。  
平成 7年 4月 1日 4研究部が、機械システム安全研究部、建設安全研究部、化学安全研究部及び物理工学安全研究部に改められる。  
平成 7年 7月 7日 産業安全技術館が全面改装され、記念講演会が開催される。  
平成 8年 8月30日 大阪産業安全技術館が改築竣工。  
平成 9年 4月 1日 安全技術課が研究企画調整課に改組される。  
森崎所長退官し、物理工学安全研究部長田畠泰幸が所長に就任。  
平成11年 1月27日 共同研究実験棟が竣工。  
平成12年 3月31日 田畠所長退官。  
平成12年 4月 1日 福岡労働基準局長尾添博が所長に就任。

## 2) 産業安全研究所案内図

### (1) 産業安全研究所

〒204-0024 東京都清瀬市梅園1丁目4番6号

Tel. (0424)91-4512(代表)

Fax. (0424)91-7846

ホームページ：<http://www.anken.go.jp/>

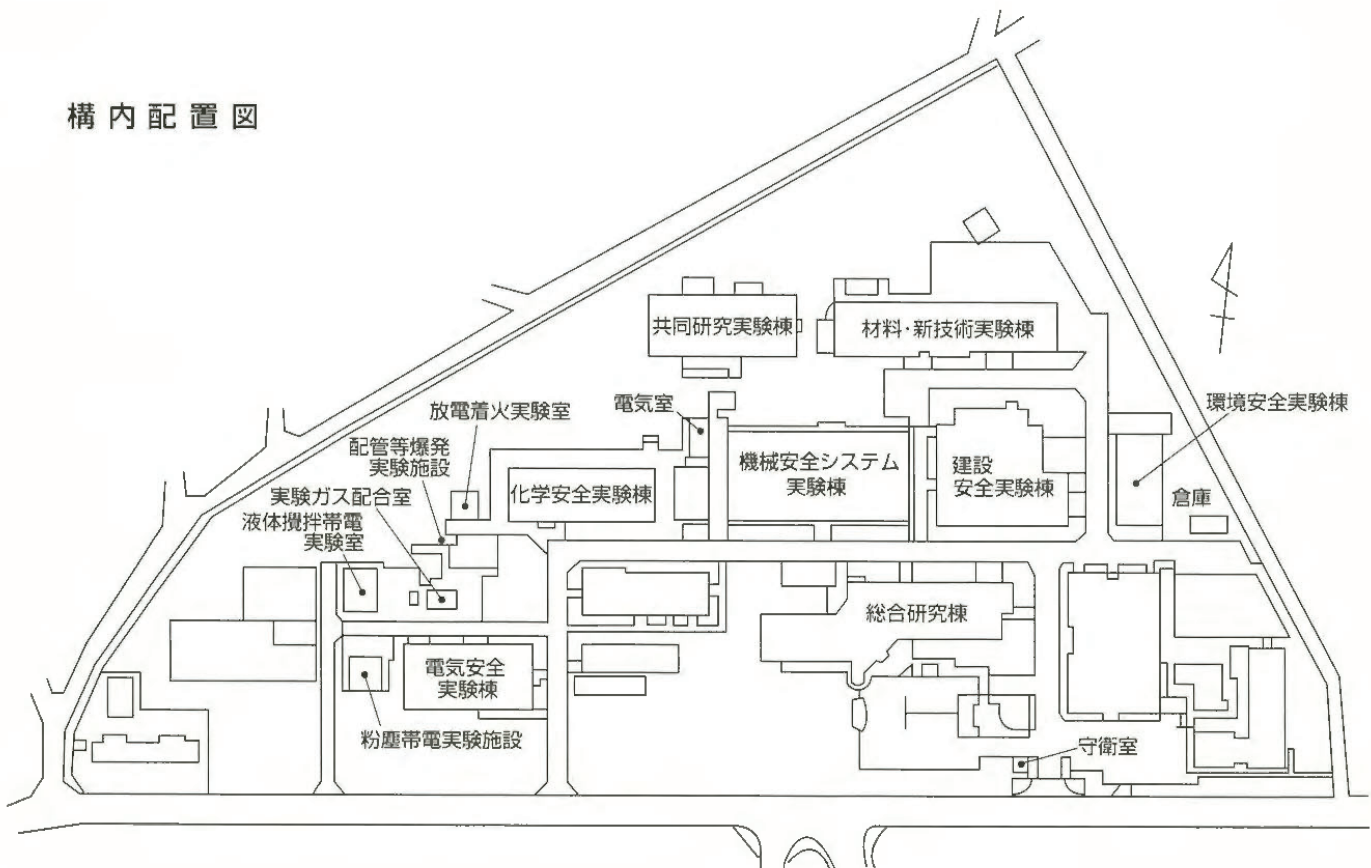
### 交通機関

西武池袋線清瀬駅南口下車，バス停2番乗車，

東京病院前下車（所要時間7分）



### 構内配置図



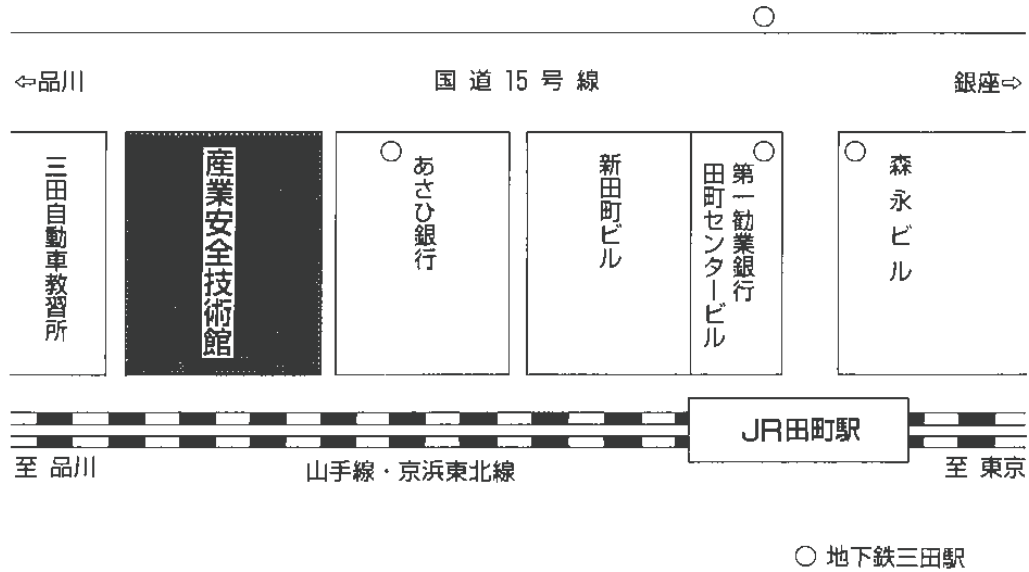
(2) 産業安全技術館

〒108-0014 東京都港区芝5丁目35番1号 (産業安全会館内)

Tel. (03)3453-8441

Fax. (03)3452-6565

ホームページ : <http://www.anken.go.jp/>

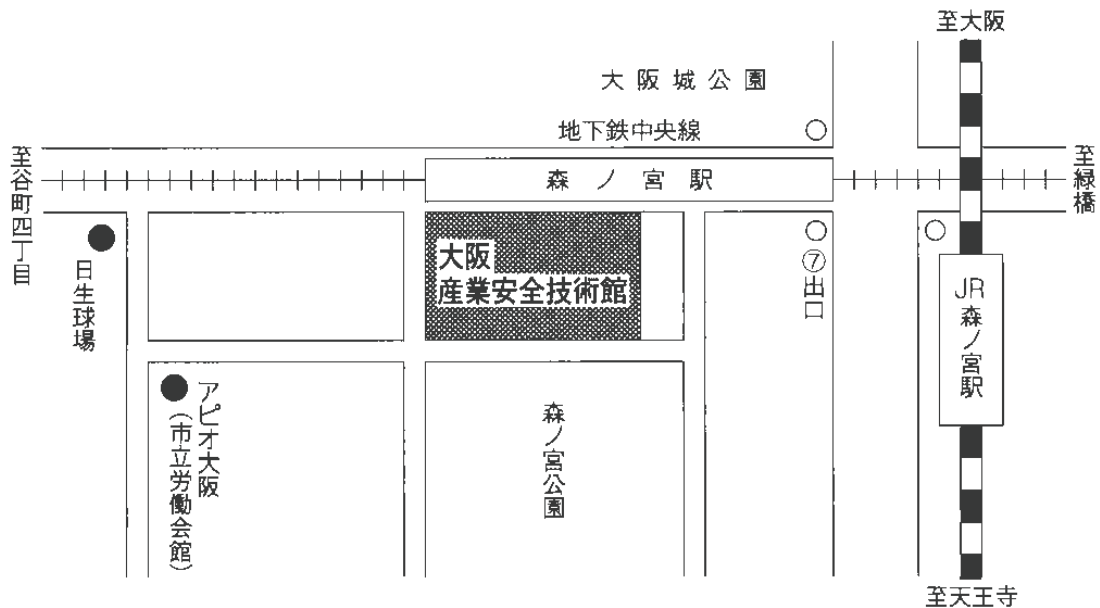


(3) 大阪産業安全技術館

〒540-0003 大阪府中央区森ノ宮中央1丁目15番10号

Tel. (06)942-3868

Fax. (06)942-3869



産業安全研究所年報

平成11年度版

---

発行日	平成12年6月30日
発行所	労働省産業安全研究所 〒204-0024 東京都清瀬市梅園1-4-6 電話 0424-91-4512(代表) FAX 0424-91-7846 ホームページ <a href="http://www.anken.go.jp/">http://www.anken.go.jp/</a>

---

印刷所 (有)祥栄堂

ANNUAL REPORT  
OF  
THE NATIONAL INSTITUTE OF INDUSTRIAL SAFETY

1999