

8. 結 論

梅崎 重夫*, 桑川 壯一*

8. Conclusion

by Shigeo UMEZAKI* and Soichi KUMEKAWA*

Abstract; The aim of this specific research was to promote safety of aged workers engaged in non-steady operations. To realize this purpose, several safety measures were proposed based on physical and mental characteristics of aged workers. Results of these studies are summarized as follows.

(1) Development of safety control system of heavy work handling by the cooperative control of crane and manipulator.

The automatic work handling manipulator was developed for assisting aged workers who handle heavy works by cranes. This manipulating system controls compliance of the manipulator by a friction torque of an electro-magnetic brake. A cooperative control system between a crane and the manipulator was designed to position the heavy work accurately by the balance servo control.

(2) Development of chasing carriage vehicle.

The chasing carriage vehicle system was developed which enables the vehicle to follow the aged worker automatically. To realize safe and efficient chasing, the vehicle was designed to have functions that it keeps an adequate distance between the aged worker and itself and to stop in the event of coming up to the worker or its failure.

(3) Development of safety systems of automated warehouses for assisting aged workers.

The manipulating system for trouble-shooting, the safety system for picking operations and the safety system for manual operations etc. were developed. By the first system, an aged worker can correct the arrangement of loads on a upper rack without entering the movable range of the stacker crane. By the second system, a worker can also carry out picking operations without entering this area. By the third system, a worker can avoid a crash with the stacker crane when a worker executes trouble-shooting, repairing and maintenance.

(4) Development of safety device of laser beam type for compensating visual ability of aged workers.

The safety device of laser beam type was developed which confirms the absence of human body in the movable range of stacker crane automatically. As a long exposure of the laser beam to human eyes may be harmful, the one-shot laser beam should radiate during a very short period to this movable range. The exposing time of laser beam to human eyes can be reduced within 27ms.

(5) Development of start-up alarm system for reducing work load on aged workers.

This system sounds the alarm automatically by the start operation and permits the machine to start when it confirms that the alarm actually sounds without fail. The sound frequency of the alarm is set around 300 Hz, because aged workers have a tendency of missing a higher frequency sound.

(6) Logical Study on danger zone guard system in automated warehouses.

*機械システム安全研究部 Mechanical and System Safety Research Division

The danger zone guard system can be divided into the safety stop system and the entrance protection system. The former system is the emergency stop system which stops a machine immediately after the sensor detects a human body entering the danger zone. The latter system is the guard locking system which keeps the entrance door to the danger zone locking until the machine stops completely. The entrance protection system is preferable for aged workers, because it can prevent them from entering danger zones perfectly.

Keywords; Safety, Safety control, Aged worker, Fail-safe, Heavy work handling, Automated warehouse

1. 研究成果の要約

本特別研究では、高齢者が行う非正常作業の安全化を目的として、①高齢者の危険認知能力と危険回避能力の評価、②高齢者の歩行環境の改善、③騒音環境が高齢者の作業特性に及ぼす影響、④高齢者の作業特性を考慮した操作盤の改良、⑤重量物取扱い用の各種支援機器の開発、⑥倉庫関連作業の安全化等の研究を実施してきた。このうち、①～④の研究成果は既に「高齢者の安全確保のための機器及び作業システムの開発に関する研究（第1報）」で報告している。

本報告書では、主に平成5～6年度に実施した⑤と⑥の研究成果を報告した。これらの成果は、次のように要約できる。

1.1 重量物取扱い作業用各種支援機器の開発

本テーマでは、高齢者が行う重量物取扱い作業の支援機器の開発を目的として、「重量物組立支援のための重量物搬送システムの開発（第2章）」と、「追従型搬送台車機構の開発」（第3章）を実施した。この概要は次の通りである。

(1) 重量物組立支援のための重量物搬送システム

高齢者がクレーンで重量物を搬送する際の支援機器として、クレーン作業時の荷振れ抑制機能と、荷降ろし作業時の微細位置決め機能を持つ遠隔操作型支援マニピュレータの開発を行った。

この種の機器では、重量物の搬送時にクレーンとマニピュレータ間の適切な協調制御を必要とする。しかし、従来の協調制御方式では、クレーンに緩衝性（バネ弾性）を持つマニピュレータを取り付けて過大な力の発生を防ぐ場合が多かったために、バネ系の力が変化するとマニピュレータの位置も変化し、これが位置決め精度を低下させる原因となっていた。

そこで本研究では、クレーンのマニピュレータを駆動する空気圧シリンダに正作動型の摩擦ブレーキを取り付け、このブレーキに流れる電流の大きさによって静摩擦

力を調整してシリンダの剛性を制御する方式（バランス・サーボ方式）を提案した。

このような方式とすれば、仮にマニピュレータに作用する力が変化しても、それが静摩擦力の範囲内であればマニピュレータの位置（変位）は変化せず、その結果荷降ろし時の位置決め作業を正確に行うことができる。これにより、従来の空気圧シリンダでは実現できなかった1 mm以下の精度での位置決め制御が可能となった。

またこの方式では、摩擦ブレーキが滑り状態となるようにブレーキ励磁コイルの電流を調整することによって、重量物の運動エネルギーを消散する制動状態を作ることができるが、これは荷振れを抑制するための機構として作用する。さらにこの方式では、荷振れによりマニピュレータ本体が転倒するおそれがあるときは、この転倒条件をロードセル等のセンサで検出して摩擦ブレーキへの通電を停止することにより、重量物とマニピュレータ間の結合を切り離し、転倒を防止することも可能である。

(2) 搬送台車システム

手押し台車による重量物搬送作業の支援機器として、作業者に自動追従する搬送台車システムを開発した。このシステムでは、搬送台車が自動的に作業者に追従するように、複数の赤外線センサを使用して台車前方の作業者の位置を常時監視し、この位置情報に基づいて台車の走行速度や操舵を制御している。

このシステムでは、何らかの理由により自動追従中の台車が作業者と接触すると、重量物が台車から落下して高齢者に危害を加えないとも限らない。そこで、前述の位置情報を利用して高齢者と搬送台車の間隔を常時監視し、間隔が所定の範囲内のときは台車の運転を許可し、間隔が近すぎるとき、遠すぎるとき、センサが故障したとき等は運転許可情報を生成しないようにシステムを構成した。このような制御方式の採用により、安全が確認できないあらゆる事態（近づき過ぎ、離れ過ぎ、センサ故障等）に対して台車の確実な停止を可能としている。

また、このシステムでは、前方の作業者の走行状態に従って台車の走行速度や操舵を制御しているが、これは

高齢者の側で台車を能率良く制御できる可能性があることを意味する。このように本システムでは、安全の確認は機械側に行わせ、稼働率の向上は人間側が担当することにより、安全でかつ生産性の高いシステムの実現を可能としている。これは、従来の自動化システムや支援システムにおける人間と機械の役割とは逆の発想に基づいている。

1.2 倉庫関連作業の安全化

本テーマでは、高齢者が従事する比率の高い倉庫関連作業の安全化を目的として「高齢者の人間特性に配慮した自動倉庫用安全システムの試作」(第4章)、「高齢者の視覚能力を補完するレーザー式安全装置の試作」(第5章)、「高齢者の作業負担を軽減する起動時の警報システム」(第6章)、「自動倉庫における危険領域防護システムの論理的考察」(第7章)を行った。

(1) 高齢者の人間特性に配慮した自動倉庫用安全システム

高齢者が不得手とする高所作業や狭隘な場所での作業、広大な領域の安全確認作業、ME機器等の操作作業等を有する典型的な倉庫関連設備として自動倉庫を選定し、この設備を対象に高齢者の人間特性を考慮した安全システムの試作を行った。試作したシステムには、次のようなものがある。

① 荷ずれ処理作業システム

倉庫内の棚の上にある製品が荷ずれや荷崩れを起こしたときに、高齢者が直接高所に登ることなく、遠隔操作によって荷ずれや荷崩れを処理できるシステムを試作した。このシステムでは、荷ずれ処理中にマニピュレータが荷を損壊することのないように、荷の硬さに応じた力制御が可能な空気圧式のマニピュレータを用いた。

② ピッキング等の作業時における安全システム

倉庫内の棚の一部を製品の小出し(ピッキング)・返品・在庫確認等の作業を行う専用領域とし、この領域をシャッタ等で遮蔽することにより、高齢者がピッキング等の作業を安全に行うことができるシステムを試作した。このシステムでは稼働率の低下を防止する制御はコンピュータ側で行い、安全確保の制御はフェールセーフな安全制御回路で行うようにして、安全で作業性の良い階層化された安全制御システムを実現した。

③ トラブル処理と保全作業時の安全システム

トラブル処理や保守・点検・補修等の作業時に、高齢者が誤操作を行ったり、スタッククレーンが暴走したときは、直ちにスタッククレーンを緊急停止して作業者の安全を確保するシステムを試作した。このシステムでは、スタッククレーンの走行や昇降のいずれの動作に対しても、操作装置、非接触式安全装置、接触式安全装置等を

適切に組み合わせることにより、作業者の安全を確保できる構成としている。

(2) 高齢者の視覚能力を補完するレーザー式安全装置

倉庫関連設備である自動倉庫、パレタイザ、コンベヤ等に広く適用できる機器として、視覚能力の低下した高齢者に代わって広大な領域の安全確認を自動的に行うレーザー式安全装置の開発を行った。

この装置では、万一レーザー光が人間の目に直接照射されても目に障害を起こすことのないように、投光器からレーザー光をきわめて短時間だけ発光し、レーザー光が受光器に到達したときは、人体が存在していないものとして次のレーザー光の発生を短時間だけ許可し、レーザー光が受光器に到達しなかったときは、人体が存在しているものとして次のレーザー光の発生を禁止するという方式(逐次確認方式)を考案した。

この方式を、投光器の中心波長が670 nm、レーザー光出力が1.5 mW、労働省通達で定める等級がクラス3A(連続光照射の場合)のレーザー式安全装置に適用したところ、人間の目がレーザー光に暴露される時間は、試作した装置では27 ms以下に抑えられることが分かった。これは、レーザーの等級で言えばクラス1に該当する。

(3) 高齢者の作業負担を軽減する起動時の警報システム

広大な作業空間を持つ倉庫関連設備に広く適用できる機器として、高齢者の聴覚特性を考慮した起動時警報システムの開発を行った。

このシステムでは、高齢者の操作ミスによって起動時に警報が鳴らないという事態を防止するために、起動操作時には自動的に警報を鳴らす構成としている。また、劣悪な環境下で使用される設備では、しばしば警報装置が故障し、警報が鳴らないことがある。そこで本研究では、警報音が確かに鳴っていることを音響的に確認した後に、初めて設備の起動を許可するシステムを開発した。

この装置は、警報の故障が直ちに重大な災害に結びつく自動倉庫、コンベヤ、パレタイザ等に有効と考えられる。なお、この装置では、警報システム自体の故障が災害の原因となることのないように、回路をフェールセーフな構成としている。また、警報音は、高齢者が聞きやすいように、加齢による聴覚能力の低下が起こりにくいと言われている低周波領域(本装置では300 Hz前後)としている。

(4) 自動倉庫における危険領域防護システムの論理的考察

機械の安全防護のあり方を一般的に示すために、人間と機械が同一時刻で同一場所に存在するときに災害は発生するという論理モデルを基に、自動倉庫を例にとり、災害を防止するための条件を論理的に考察した。この考

察の過程で、隔離の原則、停止の原則、インタロック等の重要性が明かとなった。

また、安全防護の方式には、人間が危険領域に進入したことを光線式安全装置やマットスイッチ等によって検出して機械を停止させる方式（安全停止方式）と、機械が停止したことを何らかのセンサ（たとえば、モータの回転を監視するセンサなど）によって確認し、この情報に基づいて進入口の扉のロックを解除する方式（進入防止方式）がある。しかし、本報での検討の結果、安全停止方式では作業者が安全装置を迂回又は無効化して危険領域に侵入する危険性もあるために、防護方式の形態はできる限り進入防止方式とすることが望ましいことが分かった。

2. 今後の課題

本特別研究の実施過程で明かとなった今後の検討課題をまとめると、次のようになる。

2.1 各高齢者の個性に応じた支援機器の開発

本特別研究では、当初、50～60才前後の高齢者を対象に研究を実施してきた。これは、本研究が企画された昭和60年代の初めには、55才定年制から60才定年制への移行が労働行政の主たる課題であり、対象とする高齢者も、概ね50～60才前後の作業者との認識があったためである。

しかし最近では、65才定年制への移行が強く推奨される中で、本研究で対象とする高齢者の年齢範囲も50～70才前後へと拡大してきている。この場合、一口に高齢者と言っても、50才と70才ではその労働能力は大きく異なり、これらを単一母集団として扱うのは適切でない。

また高齢者の中には、他の能力は若年者と同等であるのに、聴力だけが著しく劣るため危険回避能力が著しく低下している場合や、加齢と共に熟練度を増し、若年者よりも高い労働能力を持つなど、多様な個性を持つ例も多い。このように、単に高齢化と言っても高齢化の形態は個々の年齢、健康状態、作業経験等によって千差万別であり、このことから高齢者の個性に応じた適切な対策の実施が重要と考えられる。

今回の研究では、このような点を十分考慮することなく、単に、加齢と共に低下する能力として、筋力、身体平衡能力、敏捷性、視聴覚能力等を取り上げ、この能力

低下を補完する一般的な支援機器の開発を実施してきたのが現状である。

一方、高齢者の個性に応じた対策をとる場合、まず高齢者の労働能力を適切に把握する必要がある。しかし、我国では、高齢者の能力を評価する手法は、閉眼片足立ち試験を除けば十分確立しているとは言えない。従って今後の研究では、加齢による熟練度や知的能力の向上、身体諸機能の加齢による低下等を含めて、高齢者の労働能力を適切に判定できる手法を確立し、この判定に基づいて高齢者の個性に応じた最適な支援機器を開発していくことが重要と考えられる。

2.2 今後研究対象とすべき機械作業

本特別研究で主たる対象としたのは、製造業で使用されている機械設備のうち、機械の停止によって高齢者の安全を確保できるシステムである。このため、実際の研究は、高齢者が危険な機械に接近したとき確実に機械を停止させる手段の開発が中心となり、このための基礎技術であるフェールセーフ、インタロック等の技術開発も含めて研究が進められた。

しかし、最近の高齢者による労働災害の発生傾向を見た場合、災害は作業者が機械の危険な可動部に近接した状態で行わざるを得ない作業（たとえば、回転中のロール機械に手送りで製品を送給する作業、掘削中の車両系建設機械の周辺で行う整地作業、作業者と荷役運搬機械が同一作業領域内で混在して行う荷扱い作業、手持ち式機械による加工作業等）でむしろ頻発している。従って、今後はこのような機械作業を対象とした安全研究の実施が重要と考えられる。

3. おわりに

以上、本特別研究で得た成果と今後の課題について述べた。周知のように高齢者が行う作業の形態は様々であり、その意味で本特別研究は、安全確保のために必要な内容のうちごく一部を検討したに過ぎない。しかし、本報告で述べた安全確保のための機器や装置は、製造現場を初めとする設備に広く適用できるものと考えられるので、より充実した高齢者の災害防止対策の確立のためにも、本報告が広く活用されることを期待する。

(平成8年3月15日受理)