



製鉄所におけるロボットの実現性評価

石 崎 常 臣*

Study on the Feasibility of Robotizing Work at Steelworks

Tuneomi ISHIZAKI

1. 緒 言

1980年代は「産業ロボットの時代」と呼ばれるほどロボットの普及は目ざましいものがある。特にマイクロエレクトロニクスに関する技術革新により知能ロボットも実現し、ますますロボット化が身近なものになってきている。一方、今後の鉄鋼業には高齢化・高賃金化あるいは悪環境・危険作業不足といった労働環境の変化に対応しつつ、生産性向上、コストダウン、品質向上といった数々の問題を解決して行かねばならない状況にある。

このような背景から、圧延設備分科会の参加各社14社（鉄鋼メーカー7社、機械メーカー7社）で構成されるロボット研究小委員会が設置され、「製鉄所のロボット化」をテーマに活動を行ってきた。

本小委員会では、ロボットに関するハード並びにソフトの具体的な開発活動の展開を目的とはせず、製鉄所におけるロボットの導入実態、並びに製鉄所におけるロボット化のニーズをアンケート方式によつて調査を行い、今後のロボット化について取り組む示唆を与える段階までのことを研究した。

この研究成果については第27回圧延設備分科会で

- (1) 製鉄所におけるロボットの導入実態
- (2) 製鉄所におけるロボット定義の解釈
- (3) 製鉄所におけるロボット化ニーズの実態
- (4) ロボット化ニーズの実現難易度の評価
- (5) ロボット化実現のための技術課題
- (6) ロボットに関する技術動向

の内容を報告した。ここではこのうち(1)(3)(4)(5)について要約をして報告する。

2. 調 査 方 法

調査は圧延設備分科会加入の鉄鋼7社25事業所からアンケート式によつて行つた。アンケートは以下の考え方に基づき実施した。

(1) 製鉄所においてのロボットの導入実態と鉄鋼業におけるロボットのイメージを把握するために、現在製鉄所で稼働している装置、機械などで「ロボット」と認

識しているもの、およびロボットらしきものを対象に抽出する。

(以下、この調査を「ロボット実績」と略す)

(2) これから製鉄所のロボット化を考えていく場合のニーズ状況を把握するために、現在人手で行つてはいるがロボット化を期待する作業、あるいは機械を使つてはいるがロボット化によつて効果が更に期待できる作業を対象に抽出する。

(以下、この調査を「ロボット化ニーズ」と略す)

調査方法は所定のフォーマットに記入してもらつた方法で行い、その内容は、「作業名（または機器装置名）」、「作業概要（作業目的、作業内容・手順、作業上のポイント、ワークの使用条件、略図）」、「ロボット化の作業範囲」、「ロボット化する目的」、「ロボット化の条件・機能（環境条件、対象物の形状、重量、サイクルタイム、作業時の状態など）」、「技術的に解決すべき問題点」、「その他」である。この第1次調査されたロボット化案件を更に具現化するために、ロボット研究小委員会の委員による個別調査（第2次調査）を取り入れた。

3. アンケートの集約結果

アンケートの回収は、ロボット実績に関するもの49件、ロボット化ニーズに関するもの110件となつた。以下にその概要を記す。

3.1 工程別分析結果

製鉄所の工程に基づき分類整理した結果は、図1に示すごとくである。

製鉄所におけるロボットの導入実績事例の多い工程は、高温・塵埃・有害ガスなどの環境条件の厳しい高炉、転炉の工程、並びに最終製品工程で人手による附帯作業のウェイトが大きい冷延工程である。

また、ロボット化ニーズについてもロボット実績の傾向と同様で、人手による附帯作業にロボット化の目が向けられている。

3.2 作業種別分析結果

作業の種類（目的）別に分類整理した結果は、図2に示すごとくである。

昭和58年4月25日受付 (Received Apr. 25, 1983)

* 本会共同研究会設備技術部会圧延設備分科会ロボット研究小委員会委員長

(株)神戸製鋼所加古川製鉄所 (Kakogawa Works, Kobe Steel, Ltd., 1 Kanazawa-cho Kakogawa 675-01)

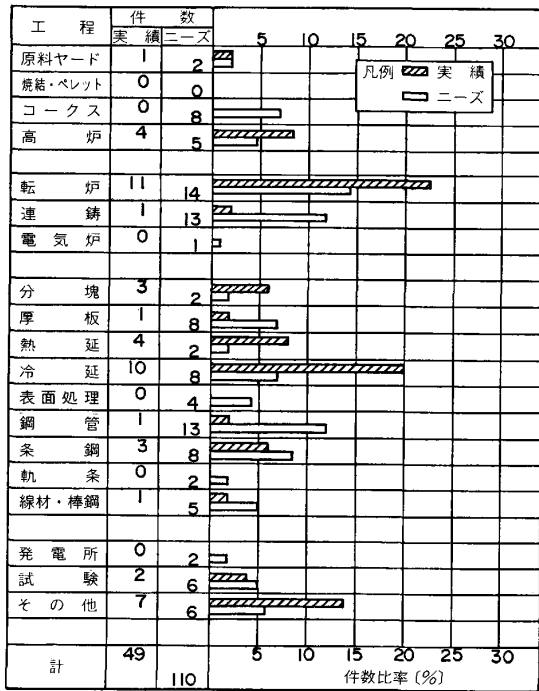


図1 工程別傾向

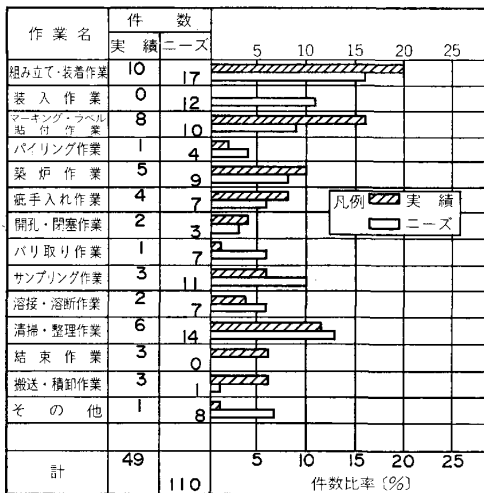


図2 作業種類別傾向

作業内容からみると、ロボット実績、ロボット化ニーズともメインラインの作業工程よりも精整ラインなどの下工程、あるいはオフラインで行われる作業にロボット化の目が向けられている。

製鉄所においてロボットの導入実績の多い作業の種類は、以下の作業があげられる。

- (1) 組み立て・装着作業（取り外し取り付け作業で刃替、蓋の着脱作業など）
- (2) マーキング・ラベル貼付作業
- (3) 築炉作業（耐火物の取り壊し作業も含む）
- (4) 清掃・整理作業（屑処理、除滓作業など）

これらは、製鉄所において比較的単純繰り返し作業に属するものへの導入であると言える。

ロボット化のニーズでは、ロボット実績と同じ傾向を

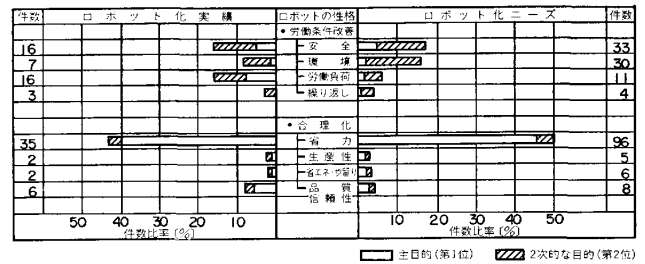


図3 ロボット化の目的別傾向

示しているが、品質重視時代の背景もあつてサンプリング作業、滓などの不純物の除去や製品の末端処理などを含んだ清掃・整理作業にも拡大されていく傾向が見られる。

3.3 ロボット化の目的別分析結果

ロボット化の目的別に分類整理した結果は、図3に示すごとくである。

ロボット実績、ロボット化ニーズとも合理化、特に省力化が最優先と考えられており、労働条件の改善は2次目的とする傾向が顕著である。

4. 製鉄所におけるロボット導入に関する考察

アンケートに回答されたロボット実績を JIS B 0134 で制定されているロボット分類にしたがい整理を試みた。その結果、アンケートで抽出された 49 件のうち 11 件は、マニピュレータの機能を持たないもの、すなわち、自動結束機、無人台車、自動疵見装置などは、専用自動機とみなし再整理を行った。その結果製鉄所で導入されているロボットの実態は、図4、表1のごとくである。

- (1) 現在製鉄所でロボットとして稼働しているロボットのタイプは、JIS で定められている主分類でいうマニュアルマニピュレータ、次いで固定シーケンスロボットがほとんどと言つてよい。このことから製鉄所においてロボットの高級化は、これからという段階であることがうかがえる。
- (2) ロボット化が進んでいる作業は、組み立て・装置作業、マーキング・ラベル貼付作業、除滓作業、築炉作業である。これらの作業のロボットについて共通して

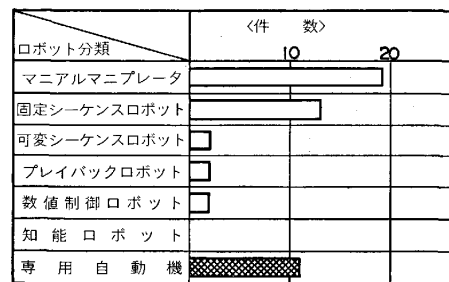


図4 ロボット分類別アンケート件数分布 (ロボット実績)

表 1 作業種類別ロボット分類分布 (ロボット実績)

| | マニュアル・マニプレーター | 固定シークェンスロボット | 可変シークェンスロボット | アレイバックロボット | 数値制御ロボット | 知能ロボット | 総件数 (38件) |
|---------------|---------------|--------------|--------------|------------|----------|--------|-----------|
| 組み立て・装着作業 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | 10件 |
| マーキング・ラベル貼付作業 | * | ● | ● | ● | ● | ● | 7 |
| 清掃整理(除塵)作業 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | 5 |
| 溶接(取り壊し)作業 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | 5 |
| 紙手入れ作業 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | 3 |
| サンプリング作業 | * | ● | ● | ● | ● | ● | 3 |
| 溶接・溶断作業 | ● | ● | ● | ● | ● | ● | 2 |
| バイリング作業 | * | ● | ● | ● | ● | ● | 1 |
| 搬送・積卸作業 | * | ● | ● | ● | ● | ● | 1 |
| 鍛造作業 | * | ● | ● | ● | ● | ● | 1 |

★印該当なし
件数は円の直径で表示

表 2 実現難易度評価基準

| 実現難易度 | 記号 | 補 足 説 明 (考 え 方) | 実現困難理由 |
|-----------------|----|--|---|
| 工業化完了 | ◎ | ・既存ロボットの導入または部分的改造で適用可能なもの。 | — |
| 技術開発完了 経済評価中 | ○ | ・類似作業を検討し、汎用性の可能性が展望でき、コスト低減が期待できるもの。 ・同種作業を標準化することにより、汎用性が展望でき、コスト低減が期待できるもの。 ・周辺技術を検討することにより、コスト低減が期待できるもの。 (群システムの一部として機能する) | — |
| 技術検討中 | △ | ・技術開発が進展中のもの。 ・類似作業を検討することにより開発効果の期待ができるもの。 (多目的使用、移動可) | <記号> ① ワークの問題 ② 動作速度 ③ 要求精度 ④ 動作機構 ⑤ センサー ⑥ 環境 ⑦ その他 |
| 実験室レベルの研究開始 | ▲ | ・技術的には可能であるが、経済効果の期待が不明なもの。 | |
| 研究要 | × | ・現状では、技術的に困難なもの。 | |

いることは、人間自身がセンサの役割を受け持っているロボットが大部分であること、第2にロボットの範囲をみると、作業全体のごく一部分を受け持ちロボットが主役になつていないこと、第3に製鉄所において、比較的単純な繰り返し作業に属するものへの適用であることである。

(3) ロボットの定義に関する解釈について考察してみると、マニュアルマニプレータに属するものに、製鉄所内にはストリッパークレーンや油圧ショベル、フォークリフトなども該当することになるが、ロボット実績として抽出されていない。このことからこの種のような専用機とみられるものは、ロボットと認識する考え方がないように思われる。

5. 製鉄所におけるロボット化ニーズに関する考察

回収されたロボット化ニーズについて、ロボットの設置条件、周辺技術の適用条件など製鉄所間でも相違があるので、現状の平均的実態をベースにして、作業イメージ化を簡略化し、かつできるだけ簡易な構造で考え、ロボット化実現難易度の評価を行った。

ロボット化ニーズの個々の案件について、表2に示す5段階の評価基準で実現難易度の評価を行い、図5にその結果を示す。技術的な問題を抱えている案件は、約60%を占めている。一方、技術的にも、経済的にも問題ない案件はわずか5%であり、製鉄所のロボット化には、まだまだ研究開発の必要性がうかがえる。

5.1 製鉄所におけるロボットのイメージ

前述したロボットに対するイメージに基づき、ロボットの諸元を設定し、それを統計的处理をし傾向分析を試みた。この結果によると、製鉄所におけるロボットの構造面においては、特異な条件を要求するケースは少なかつたが、高級ロボットに不可欠なソフト面では既存技術以上のものを要求する傾向にある。

5.1.1 ワークの諸元

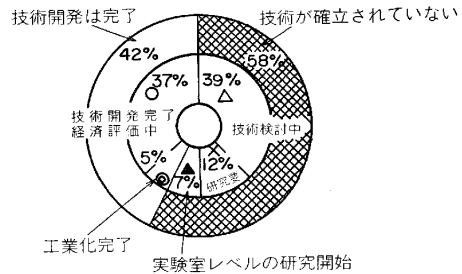


図5 実現難易度分布

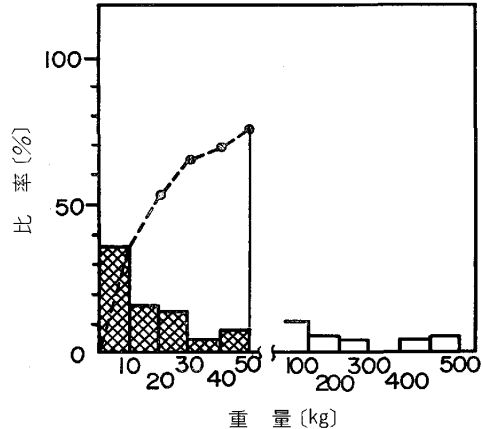


図6 ワークの重量分布

ロボットの可搬重量は、ラベルなどのg単位の非常に軽いものから2000kgというケースもあるが、図6に示すごとく50kg以下のものを対象とするケースが大部分を占めている。重量物を対象とする作業は、組み立て・装着作業での部品交換作業あるいはサンプリング用端材処理などで非常に限られている。また、ロボットが把持するワークの断面形状は、円形、矩形、L形など種々ある。その大きさの分布は図7に示すとおりである。

5.1.2 ロボット本体の諸元

ロボット本体の移動について、ロボットが配置される周辺状況によつて必要自由度は変化するが、ここでは横行、前後進、昇降のストロークについて分析した。その

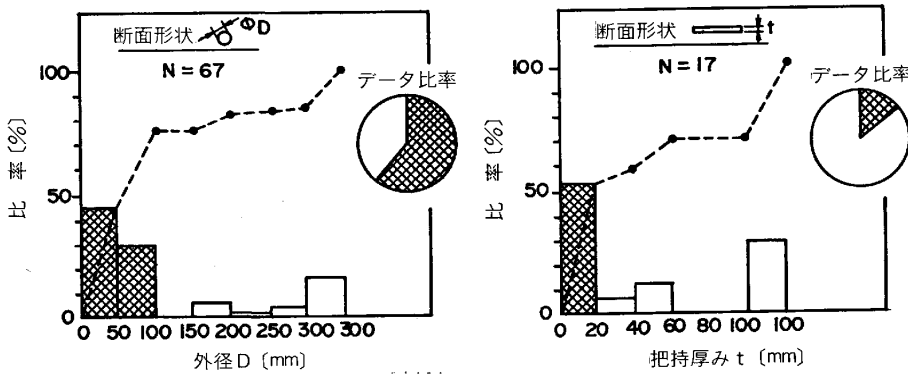


図7 ワークの断面寸法分布

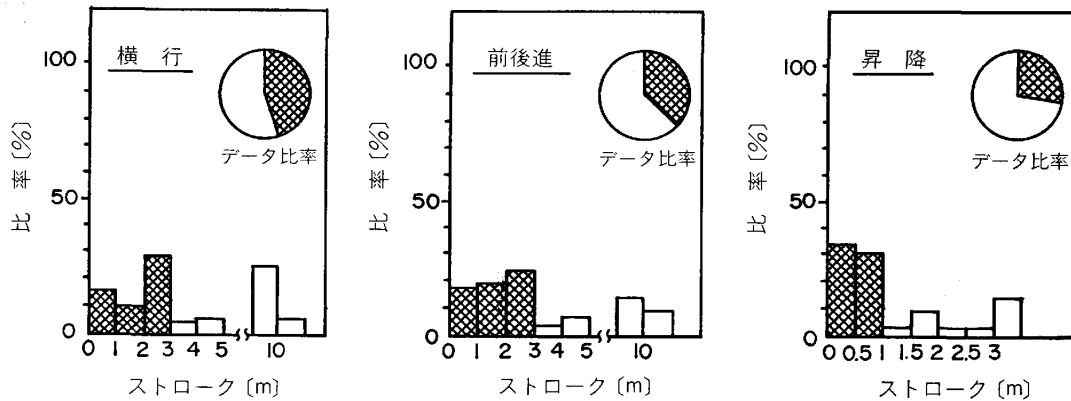


図8 ロボット本体のストローク分布

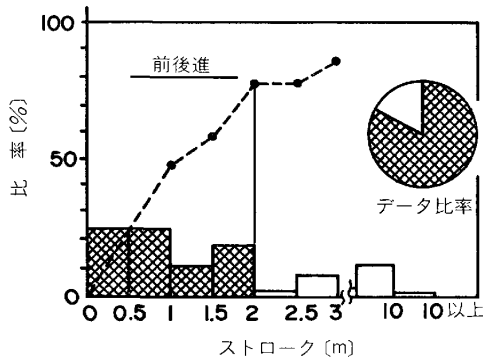


図9 ロボットアームストローク分布

ストロークの分布状況は図8に示すごとくで、X軸、Y軸の両方向とも3000mm以下、Z軸方向は1000mm以下が代表的仕様と想定できる。

5.1.3 ロボットアームの諸元

アームはロボットの必要機能で旋回、前後進が代表的機構であるとして諸元を検討した。このうち前後進ストロークは、図9に示すごとく2000mmあれば大部分の作業が網羅できると想定される。

5.1.4 ロボット手首の諸元

ロボットの手の設計上自由度は重要な検討課題であり、作業種類ごとに分析した結果は、表3に示すごとくである。装入作業、清掃・整理作業（特に、除滓作業）の場合手首の自由度は不要であり、組み立て・装着作業、

表3 作業種類別手首の自由度分布

| 作業種類 | 手首の自由長 | | | |
|-----------------|--------|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 |
| 1 組み立て・装着作業 | ○ | ◎ | ● | ○ |
| 2 装入作業 | ○ | ○ | ● | ○ |
| 3 マーキング・ラベル貼付作業 | ★ | ○ | ● | ○ |
| 4 バイリング作業 | ○ | ○ | ★ | ★ |
| 5 築炉作業 | ○ | ○ | ◎ | ○ |
| 6 疵手入れ作業 | ○ | ● | ● | ○ |
| 7 開孔・閉塞作業 | ○ | ● | ★ | ★ |
| 8 バリ取り作業 | ○ | ● | ● | ○ |
| 9 サンプルング作業 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 10 溶接溶断作業 | ○ | ★ | ● | ○ |
| 11 清掃・整理作業 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 12 搬送積卸作業 | ★ | ● | ★ | ● |
| 13 その他 | ○ | ★ | ◎ | ○ |

★印該当なし ●印検りのケース(内数)
件数は円の直径で表示

マーキング・ラベル貼付作業、サンプルング作業など位置決め制御が伴う作業においては、多自由度が要求されることがうかがえる。

5.1.5 位置決め精度の諸元

精度に関する分析結果は、図10に示すごとくである。±1mm以下の精度を要求するケースは比較的少ないが、溶接溶断作業、バリ取り作業などは±1mm以下

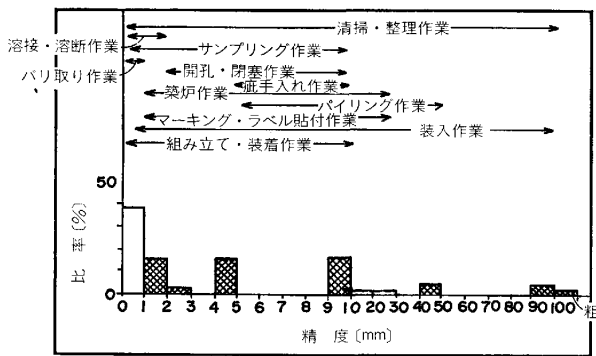


図10 位置決め精度分布

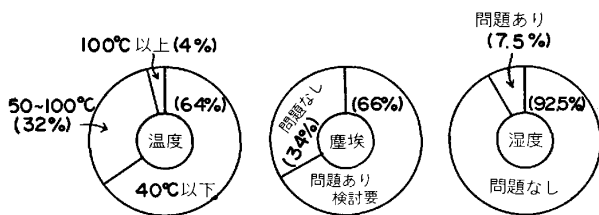


図11 環境条件の傾向

が要求される。

5.1.6 環境

ロボット本体の環境条件は、図 11 に示すごとくである。塵埃は問題となるケースがかなりあるが、温度、湿度についてはほとんど問題とならない状況である。

5.2 ロボット化実現のための技術的課題

製鉄所におけるロボット化ニーズに関する実現難易度の分布状況と、主たる技術課題の内容は表 4 に示すごとくである。総括的に言えることは、センシングに関する問題がクローズアップされており、ロボット化を進める上で重要なファクタになることが、図 12 に示されるロボット実績との対比から推測される。特に、位置や力に関するセンシングについての研究開発が望まれる。以下に製鉄所に関わる作業の種類別の技術課題について述べる。

(1) 組み立て・装着作業

部品の取り外し取り付けなどの交換作業や蓋あるいはは工具の着脱作業など物を所定の位置にセットしていく作業で、技術課題も比較的少なくロボット化のニーズも高い作業内容である。

この種の作業においては、形状の異なつた物を把持するためのグリップ感覚や対象物の微妙な位置ずれ認識のため、高感度の触覚センサの開発が技術課題としてあげられる。

(2) 装入作業

この種の作業は、ある容器に物を入れる作業、たとえば鉄板装入、パウダの均一散布の作業など、あるいは物と物との間にマンボを挿入する作業で、比較的位置決めは粗くてよいケースが多い。したがって、現状の技術の

表 4 作業種類別実現難易度状況と技術課題

| 作業種類 | 実現難易度 | | | | | 技術課題 (△, ▲, ×を対象) | | | |
|-----------------|-------|---|---|---|---|-------------------|----------|----------|----------------------|
| | ◎ | ○ | △ | ▲ | × | B Brain | E Effect | S System | 主たる課題 |
| 1 組み立て・装着作業 | ○ | ○ | ○ | ★ | ○ | ○ | ○ | ○ | 触覚センサの開発 |
| 2 装入作業 | ○ | ○ | ○ | ○ | ★ | ○ | ○ | ○ | |
| 3 マーキング・ラベル貼付作業 | ○ | ○ | ○ | ★ | ★ | ○ | ○ | ○ | 識別イメージセンサ (同色系統の識別) |
| 4 パイリング作業 | ★ | ○ | ○ | ★ | ★ | ★ | ○ | ★ | 動作速度の高速化 |
| 5 築炉作業 | ★ | ○ | ○ | ★ | ○ | ○ | ○ | ○ | 識別イメージセンサ、組み立て・平滑仕上げ |
| 6 搬手入れ作業 | ★ | ★ | ○ | ○ | ○ | ○ | ★ | ○ | 疵の程度の検出 |
| 7 開孔・閉塞作業 | ★ | ○ | ○ | ★ | ★ | ○ | ○ | ★ | |
| 8 バリ取り作業 | ○ | ○ | ○ | ○ | ★ | ○ | ★ | ★ | 高精度の形状認識センサ |
| 9 サンプル作業 | ★ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 両手作業 (協調動作) |
| 10 溶接・溶断作業 | ○ | ○ | ○ | ★ | ★ | ○ | ★ | ★ | 高精度の形状認識センサ |
| 11 清掃・整理作業 | ★ | ○ | ○ | ★ | ○ | ○ | ○ | ○ | 漠然とした形状識別センサ |
| 12 搬送積卸作業 | ★ | ★ | ★ | ★ | ○ | ★ | ★ | ○ | |
| 13 その他 | ★ | ★ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |

表中の円の直径は件数を表す

| センシング | 実績 (ただし、ロボットとして認められたもの) | ニーズ |
|-------|-------------------------|-----|
| 形状 | 10 | 10 |
| 位置 | 20 | 20 |
| 力 | 10 | 10 |
| その他 | 10 | 10 |
| 不要 | 10 | 10 |

図12 ロボット実績とニーズのセンシング傾向

組み合わせで対応できる作業と考えられるが、周辺技術の研究、作業システムの改善などの検討は必要である。

(3) マーキング・ラベル貼付作業

この種の作業は、製品や半製品に直接印字したり、所定のラベルを定められた位置、方向に貼る作業、並びに塗装作業である。特に、塗装に関して塗装ムラ識別のため、同色系統でも色識別できるセンサの開発が課題としてあげられる。

(4) パイリング作業

この種の作業は、製品の端片、板状の製品などを所定の場所に積み重ねて置く作業、あるいはラインの流れにのってくるものから対象となるものだけを抜き取る作業である。技術課題としては可搬重量の大きいものを、ラインの流れにマッチングした速い動きで処置する必要があるため、剛性があつて、動作の高速化を可能にする構造の研究があげられる。

(5) 築炉作業

製鉄所に関わる耐火構造設備のすべてを対象にして、耐火物の壊し、れんが積み、モルタル吹き付けなどの作業であり、高温・粉塵の環境下で重量物運搬も加わることで労働条件の改善の面からロボット化が早くから検討されてきた作業である。本作業に関する技術課題は、高

温環境下でのプロフィール計測，れんがとれんがのすきまの目地入れ，モルタル表面の平滑化仕上げ，および異形物の把持である。

(6) 疵手入れ作業

製品あるいは半製品の表面の疵を検出して，グラインダあるいは溶剤にて除去する作業である。疵の検出については視覚センサを利用したかなり高速のものも実用化されているが，これからは多種多様の疵の程度（深さ，方向）を認識して，それに応じて動作するロボットの開発が課題である。

(7) 開孔・閉塞作業

この作業は，孔部の詰め物の除去や孔部に詰め物を装入する作業であり，組み立て・装着作業と類似作業であるが精度的にはラフであり開発すべき技術課題は少ない。

(8) バリ取り作業

本作業は角形，丸形したものの端部の面取り，切断面のカエリの除去をグラインダを使つて行う作業である。対象物の寸法精度，位置確認用センサの問題はあるが，作業能率をあまり問題にしなければ実現性は高い。これからの技術課題は，形状や位置あるいは押付力を検知するセンサの精度向上と動作の高速化があげられる。

(9) サンプリング作業

本作業は，製品のテストピースの採取，溶製時の成分分析のための溶鋼採取あるいは鉍石採取などである。この種の作業に関する技術課題としては，たとえばテストピース用の試料部分を把持し溶断するような両手の協調作業や動いているものに追従してつかみ取り出す作業ができる機構の研究があげられる。

(10) 溶接・溶断作業

製鉄所における溶接溶断作業は，機械組み立てのケースのようにすべてが精度よく作られることが少ないため問題が介在する。すなわち，対象物の精度が出ていないため，高精度の形状識別センサの開発が望まれる。

(11) 清掃・整理作業

この種の作業は，配管，ダクトなどの内側あるいは外側の清掃，並びに滓などの不純物の除去，製品の形状を

そろえ並べ積み上げなどである。この種の作業の特徴は，漠然とした形状のものを対象にすることが多い上に，要・不要を判別することであり，清掃すべきものと本体との判断ができる高精度の識別センサの開発が望まれる。

6. 結 び

ロボット研究小委員会活動のまとめをすると以下のごとくである。

(1) ロボットの定義あるいは解釈について，種々論じられているが，JIS の定義に基づいて製鉄所のロボット化の実態を探つてみると，マニュアルマニピレータ方式が主体で知能化はこれからである。

(2) 今回の調査から製鉄所の各工程の中でもメインラインと言われる工程は，専用機あるいは自動化が積極的に取り入れられてきたこともあつてロボット化のニーズは少なく，精整工程あるいはオフラインとなる附帯作業にロボット化の関心が向いている。

(3) ロボット化ニーズの分析結果からすると，鉄鋼のイメージとしてある「重量物」をハンドリングしたり，「高速処理」するケースが少なかつたこともあつて，技術的見地からみると実現性の高い案件がかなりある。

(4) 製鉄所におけるロボット化の拡大のための技術課題は，センサの開発，両手作業の場合の協調動作機構などの研究があげられる。

(5) ロボット化ニーズは，人間が行つている作業のロボット置換を前提として抽出したもので，ロボットの導入を前提とした生産システムの改善なども検討すれば製鉄所のロボットの適用率は高まつていくことが期待できる。

なお，本研究小委員会では，各社各事業所でレイアウト，情報の授受方法，設備構造，環境などロボット化の条件が異なるため期待に応えられる具体案の提示までには至らなかつた。しかしこれを一つの契機にして各社の実情に適したロボット化ニーズを具体化して効果を出していただければ幸いである。