

© 1988 ISIJ

日本鉄鋼協会センサ技術調査研究 小委員会活動報告

委員会報告

委員長 後藤和弘*

Report on Activity of Subcommittee for Sensor Technology

Kazuhiro Sylvester GOTO

1. 緒 言

本小委員会は日本鉄鋼協会研究委員会の活動のひとつとして、昭和60年7月26日の第2回研究委員会(加藤健三委員長)において2年間の活動期限を条件として設立が決定された。

いずれ詳細な調査報告書が日本鉄鋼協会より出版される予定であるので、本報告においてはセンサ技術調査研究小委員会の2年間の活動のごく概略のみを紹介する。

本小委員会設立の正式決定は上記のごとくであるが、昭和60年4月開催の第1回研究委員会でその可能性を調べるようにとのお話があり、それをうけて昭和60年6月17日準備会を開催した。出席者は新日本製鉄・福田武幸氏、日本鋼管・国岡計夫氏、鉄鋼協会・竹村裕氏と東京工業大学・後藤の4人で以下のような申合せをした。この申合せは一部変更した部分もあるが、本小委員会の2年間の活動の基本方針として重要な意義を有するので以下に記す。

A. 小委員会の基本的な活動方針

(1) 将来5年間の間に鉄鋼業に実用可能な物理および化学センサすべてに関する調査研究を行い、鉄鋼技術のいつそうの連続化・自動化を期するものとする。

(2) 鉄鋼製造に携わる技術者の参考となり、かつセンサの開発に取り組む研究者の指針となるように成果をまとめる。

(3) 会合回数は合計で4~5回とし、2年間でまとめるものとする。

(4) 委員会ではできるだけ小規模なものとし、実働可能なメンバーのみで構成する。

B. 委員の選考基準

(1) センサの開発研究に携わる中立機関の研究者・技術者

(2) 鉄鋼製造時の自然現象の研究者

(3) センサのユーザーとしての製鉄・製鋼・圧延・表面処理の技術管理者

(4) 計測制御技術の研究者・技術者

第2回設立準備会は8月26日に開催され、上記活動方針を再確認すると共に調査研究内容を具体的に討議し、次のような案をつくつた。なおこの案はただちに鉄鋼各社に送り各社の意見を集めて承認を得た。

(調査研究内容)

1) ニーズ調査

対象：製鉄全プロセス(メインプロセス主体とし一部の付帯プロセスは除く)

調査方法：プロセスごと、計測対象別に行う。計測対

表1 センサ技術調査研究小委員会 委員名簿(敬称略)

委員長	後藤 和弘	東京工業大学
幹事(元)	永田 和宏	東京工業大学
	井口 兼孝	東北大学
	福田 武幸	新日本製鉄(株)
	国岡 計夫	日本鋼管(株)
	佐野 和夫	日本鋼管(株)
委員	藤村 貞夫	東京大学
	岩瀬 正則	京都大学
(元)	小林 彬	東京工業大学
	藤定 広幸	電子技術総合研究所
	和田 延男	日本原子力研究所
	山口 一郎	理化学研究所
	矢部 正也	日本能率協会コンサルティング
(元)	平居 正純	新日本製鉄(株)
	賀屋 和昭	新日本製鉄(株)
(元)	湯井 勝彦	新日本製鉄(株)
	佐藤 健吉	日本鋼管(株)
(元)	塩原 勝明	日本鋼管(株)
	渡辺 卓雄	川崎製鉄(株)
(元)	下西 幾二	川崎製鉄(株)
	斎藤 吉弘	川崎製鉄(株)
(元)	西田 稔	川崎製鉄(株)
	町田 昌弘	住友金属工業(株)
	山口 久雄	住友金属工業(株)
	矢村 隆	住友金属工業(株)
	東 洵	(株)神戸製鋼所
	市田 豊	(株)神戸製鋼所
	水野 正志	大同特殊鋼(株)
事務局(元)	藤嶋 一郎	日本鉄鋼協会
	斎藤 通生	日本鉄鋼協会

昭和62年7月21日受付 (Received July 21, 1987)

* 本会センサ技術調査研究小委員会委員長 東京工業大学工学部 工博 Ph. D. (Faculty of Engineering, Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 Ookayama Meguro-ku, Tokyo 152)

Key words : sensor ; steel industry ; continuation ; automation ; measurement accuracy ; measurement ; signal processing ; process control.

象、用途（設置の効果）、要求精度、計測環境（条件）現状センシング技術、現状技術の問題点、将来への期待（どんなセンサをいつ頃までに）等をアンケート方式により調査する。

2) シーズ調査

①各種調査報告書他技術資料を広く収集する。（ただし調査範囲を明確化しておかないとこの種技術資料は氾濫している）。例えば、日本電子工業振興協会「センサニーズに関する調査研究報告書」、通産省大プロ「光応用計測」報告書、日本電子計測器工業会「高性能工業計測器の開発と先端産業への応用動向調査研究」（1980年7月～1981年3月）などを参考にする。

②シーズ体系の作成

技術資料を分類し体系化する。

③シーズ技術の評価

それぞれの技術がニーズに対して適用可能かの評価を行う。

3) シーズとニーズの対応

計測対象（環境別）ごとに対応するシーズを選びニーズ-シーズのマップを作る。

以上の設立準備をしながら委員の依頼も行いつつ、9月20日に第1回センサ技術調査研究小委員会を開催した。本小委員会のメンバーは表1のとおりである。

2. 小委員会の活動内容の概要

2.1 活動スケジュールと活動経過

9月20日の第1回委員会にて表2のような活動のスケジュールが決まり、以後の活動はほぼこのスケジュールどおりに進行した。

また、センサのニーズ調査のためのグループとシーズ調査のグループをつくり、それぞれのリーダーに新日本製鉄・福田武幸氏と東北大学・井口泰孝氏が決まった。また、それぞれの幹事としては日本鋼管・佐野和夫氏、東京工業大学・永田和宏氏が担当することになった。

表2のスケジュール表を見ると大概の調査活動がわかるが、実際には6回の委員会とニーズ調査グループと

シーズ調査グループの各10回以上にわたる精力的な合と熱心な討議や作業によつて、膨大な調査が行われた。

特に福田グループリーダーや佐野幹事を中心に数多くの作業部会が夜遅くまで開催され調査結果の整理が行われた。例えば作成した調査結果の表だけでも数百枚におよぶもので、その詳細は最終報告書として刊行される予定であるので本報告ではほんの概略のみを以下に報告する。

2.2 ニーズ調査とシーズ調査の実施と調査結果

ニーズ調査は表3-1と3-2のようなフォーマットで

表3-2 センサニーズ調査アンケート

プロセス名	テーマ名	
連続鋳造	連続プロセスの操業品質管理	
プロセス概要		
連続におけるコストダウンを図るため、物流面では連続と熱間ミルの同期化指向、品質面では高級鋼の無手入化拡大が進められている。これらの要求を満たすためには下記の統合技術が必要となってくる。		
プロセスイメージ		
<p>A: 同期化技術 6,7,8,9,10 B: 非定常部品品質向上技術 1,2,4 C: 操業安定化技術 3,5</p>		
計測対象 鋳造過程の状態計測		
計測項目	計測範囲	計測条件、他
① レードル残鋼量	0~15t	溶鋼温度 Max.1650°C
② ノロ出検知	スラグと溶鋼の混入時に検出	
③ ブレークアウト予知	0~200°C	振動 ±5mm
④ タンディッシュ内溶鋼酸素濃度測定	0~100ppm, 0~500ppm	溶鋼温度 Max.1600°C
⑤ パウダー溶融層厚測定	0~20mm	溶鋼温度 Max.1550°C
⑥ シェル厚測定	0~150mm	スラブ温度 Max.1100°C
⑦ 熱間疵探傷	疵長さ 2mm以上	スラブ厚 200~300mm
⑧ 内部割れ熱間検出	欠陥 1mm以上	スラブ幅 500~2500mm
⑨ スラブ形状熱間測定	精度 ±0.5mm	鋳造速度 Max.2.8m/min
⑩ スラブ断面平均温度測定	900~1300°C	

表4 ニーズ調査元表

プロセス: CGL									
整理No.	計測対象 (計測内容)	計測基本仕様	計測環境条件	計測目的	期待効果	従来技術	従来技術の問題	改善または新センサへの期待	必要優先度
1	溶接部の位置	パンチ穴の有無	周辺温度 0~50°C 板温度 0~90°C	溶接点トラッキング	めつき条件変更タイミングの精度向上	• 溶接部近傍にパンチ穴を穿つ • フォト通光で通過位置を判定	• パンチ穴の刃返りによるゴムロールへの疵入り発生	• パンチ穴レス化溶接点トラッキング	B
2	板温 PHF~JCF ASF	レンジ 0~900°C 精度 ±0.5%	周辺温度 0~1300°C 板温度 左記	材質	同左	輻射式板温計	• 鋼板表面の酸化状態 • 表面粗度によつて、同左の板温計は誤差を生じる	• 同左の問題点を解決し、板幅方向の任意の位置で板温のスポット測定が可能なこと	B

作表数 (合計126): 高炉8, 転炉9, 2次精練3, 連続鋳造11, 形鋼5, 厚板13, 熱延10, 鋼管11, 棒線13, 冷延16, 表面処理8, コークス8, 焼結10, ベレット1

表 5 プロセスごととセンサニーズ

プロセス名: 厚板

No.	計測対象	計測要素	優先度							計測目的	従来技術	従来技術の問題点	採否	備考
			新日鉄	鋼管	川鉄	住金	神鋼	大同	総合評価					
1	加熱炉内鋼片温度計(表面・裏面)	温度	—	—	A	B	A	—	A	鋼片温度制御 A.品質向上 省エネルギー B.オンライン FBK	<ul style="list-style-type: none"> 放射温度計使用 炉壁からの外光をシールド管などでカットする あるいは炉壁温度を測定し、外乱光を数式モデルで補正 	<ul style="list-style-type: none"> 放射率の変動あるいは、外乱光補正モデルの誤差などにより精度が悪い 校正がしにくい 	—	—
2	スラブ温度	温度	—	—	—	—	A	—	B	スラブ表面温度の把握 A.省エネルギー 品質向上 B.プロセス解析	放射式温度計(遮蔽管付含)	<ul style="list-style-type: none"> 背景光の影響を極力少なくするため遮蔽管を設置しているが、コールドスポット部の温度を測定 	—	—

作表数(合計46):高炉2, 転炉2, 2次精錬1, 連続铸造2, 形鋼1, 厚板8, 熱延5, 鋼管3, 棒線3, 冷延13, 表面処理4, コークス1, 焼結1

鉄鋼各社にアンケートをお願いした。

その調査結果は表4~7のような調査結果となった。

アンケートはコークス, 焼結, 高炉, 転炉, 二次精錬, 連続铸造, 厚板, 熱延, 冷延, 表面処理, 棒・線, 形鋼, 鋼管といった鉄鋼製造の主要13プロセスについて, プロセスごとに必要とされている計測技術の中味を(1)計測対象(計測内容), (2)計測範囲・精度, (3)計測環境, (4)計測目的・期待効果, (5)従来技術, (6)新計測技術に対する期待, (7)必要性の度合い等の観点から可能な限り具体的に作成いただいた(表4)。

各社から提出されたアンケート結果は各プロセス別に計測対象項目ごとにニーズを集約した上, 必要度の総合評価づけを行った(表5)。必要度の総合評価については, 対象項目について3社以上のニーズがあつた場合はニーズの多数決方式を採用することを原則とした。1社または2社からしか提示されていないものについてはまとめ担当委員の判断に委ねた。

各プロセスにおいてどんな計測要素を必要とする計測対象項目があるのかを把握するため, プロセスごとに計測要素別に要求項目数の割合を調査した(表6)。

次にこれらプロセスごとに整理した計測技術に対するニーズを, 計測要素別にプロセス横断的にまとめ, 後のセンサニーズとの対応づけを行う場合に, 各計測要素別にどんな計測技術が要求されるかを把握しやすいようにした。すなわち各計測要素ごとに(1)要求プロセス名, (2)計測対象項目, (3)必要度, (4)計測基本仕様(要求仕様, 計測目的等), (5)計測環境・条件, (6)改善または新センサへの期待等をまとめた(表7)。計測要素は温度, 流量, 流速, 圧力, 位置, レベル, 厚さ, 幅・長さ, 間隔, 形状など27項目にのぼつた。

なお, これらの調査結果の詳細は「最終報告書」が刊行されるのでそちらを御参照されたい。

一方, シーズ調査の方は広い範囲の文献や刊行本を調

表 6 プロセスごととセンサニーズマップ

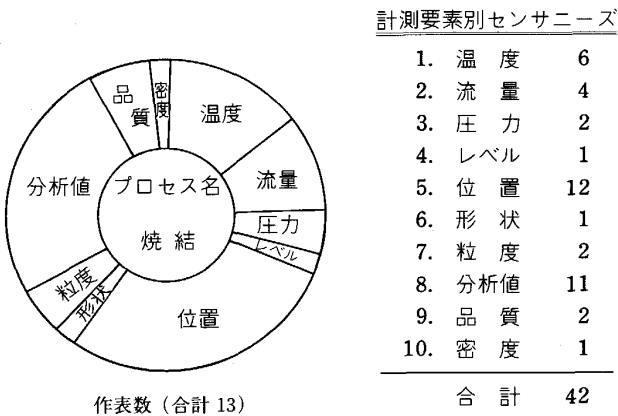


表 7 計測要素ごととセンサニーズ

計測要素名: 材質

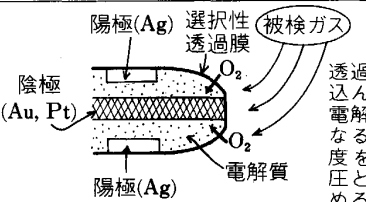
No.	プロセス	計測対象	優先度	計測基本仕様	計測環境・計測条件	改善または新センサへの期待	採否	備考
1	厚板	鋼板材料試験値	B	オンラインにおいて, 大筋の強度硬さを自動測定	<ul style="list-style-type: none"> 冷間鋼板(大板状態) 採寸作業時並行して検出(鋼板停止時) 測定時間 10s以内/本 	<ul style="list-style-type: none"> 検出の具体的方法のアイデアは現状ではないが, オンラインでの材検作業と, 短い鋼板停止中に自動化する方式の検討 設備投資限度 1億円/Set 	—	—
2	—	鑄片粒度	C	鑄片粒度の分布を厚み方向で	同上	鑄片の粒度をインラインで測定	—	—

作表数(合計102):温度10, 圧力2, 重量2, 流量5, 流速2, レベル4, 厚さ6, 幅・長さ4, 間隔4, 形状11, 粒度3, 速度2, 分析値5, 成分1, 表面性状3, 膜厚1, 表面疵4, 欠陥4, 材質8, 品質3, 位置5, 張力4, 角度1, 粘度1, 密度2, 濃度1, その他4

表 8 シーズ予備調査カード

測定対象物理量：成分(選択透過膜型酸素センサ)

カードNo.15009

対象	気体の酸素分圧
使用可能な環境	常温付近
測定原理	酸素に対して選択的透過性を示す有機ポリマー膜を用いて被検ガス中の酸素を透過させる。この透過量を電気化学的に測定する。 膜として使える材料：ポリエチレン、ポリカーボネート
文献	関戸 聡：センサ活用技術 (1984), p.325
備考その他	 <p>透過膜を通過して流れ込んできた酸素は電解質中でイオンになる。このイオン濃度を陰極-陽極間電圧として測定して求める。</p>
応用例	松下電器(06-909-1121)で開発

カード作成数(合計 680): 温度 105, 長さ 165, 流れ 64, 力 102, 成分 187, その他 57

表 9 シーズ予備調査カードリストの 1 例

測定対象物理量：力

力(1)	カード No.	センサ名称
密度	54010	オンライン密度計
	54016	オンライン気体・液体密度計
強度・硬さ	44024	超音波硬度計
	64001	簡易形硬さセンサ
	64002	簡易形硬さセンサ
	64013	引張強度
	64014	硬度
	64015	引張強度
	64016	降伏点
加速度	34008	セラミック加速度センサ
	34011	加速度センサ
	34012	重量センサ
	44004	(光ファイバー応用) 加速度センサ
	54001	光ファイバー応用振動センサ
	54004	LDV 応用振動センサ
	54005	圧電加速度型振動センサ
	54009	光ファイバー式音響センサ
	64008	光ファイバープローブマイクロホン
	84001	超音波マルチトランスジューサー
94001	電磁超音波センサ	
94002	光ファイバーセンサ	
圧力(1)	14001	歪み, 圧力センサ
	14002	光計測圧力センサ
	14003	ロール反力センサ
	34001	シリコン集積化圧力センサ
	34002	シリコンダイアフラム形圧力センサ
	34003	シリコンダイアフラム形圧力センサ
	34009	拡散ゲージ圧力センサ
	34010	拡散ゲージ圧力センサ
	34013	NMOS 集積型シリコン圧力センサ
	34014	油圧センサ
	34015	油圧センサ
	34016	Si 圧力センサ

査し表 8 のようなシーズ予備調査カードを 680 枚作成した。調査したシーズ源の範囲は各種学・協会誌、電気メーカーの技報、計測・センサに関する雑誌、各種団体による調査研究報告書など 30 種について、昭和 55 年から 61 年までの 6 年間にわたる広範囲のものになった。これら情報源をシーズ担当の大学の先生、鉄鋼各社委員が手分けして調査を行いシーズ予備調査カードに情報の要約を記入した。シーズは (1) 温度, (2) 長さ, (3) 流れ, (4) 力, (5) 成分といった測定対象物理量ごとに分類分けし、使用可能な環境、測定原理概要 (原理図付記)、文献名、著者名、実用化のレベルなどを 1 件の情報について 1 枚の予備調査カードに要領よく記入することに努めた。

これら予備調査カードのリストを測定対象物理量ごとに作成した (表 9)。

調査した情報には同一のシーズについて複数の情報源に記載されているものがあつたり、常識に類するものがあつたりしたので以下の要領で取捨選択した。

- 1) 極めて一般的に使われているもの
- 2) 基本原理を述べているもの (ただし、目新しい原理や鉄への応用が考えられるものは残す)
- 3) 単に信号処理だけに特徴のあるもの
- 4) 測定原理、仕様などの記述が不明確で、かつ鉄鋼業に全く関係がないと思われるもの

5) 重複しているもの

6) カタログ的なもの

に該当するものは削除した。

以上のような操作により有効なシーズ源として残つたものは温度 51 件、長さ 87 件、流れ 17 件、力 30 件、成分 81 件、その他 34 件となつた。これらは鉄鋼製造プロセスの計測技術の研究開発あるいは建設業務に携わっている者にとつて注目し値すると判断したシーズと考えてよい。

2.3 ニーズとシーズの対比表の作成について

本小委員会のはじめからの重要な目的のひとつにニーズとシーズの対比表をつくり、将来のニーズの解決の指針としたいということがあつた。

もちろんすべてのニーズを取り上げるわけにはいかないので、ニーズの中から重要度の大きい A ランクのもののみを取り上げて表 10 のような対比表を 10 数枚作成した。

表 10 はそのほんの一例である。

ニーズはプロセス横断的に計測要素別に計測対象を取り上げ、1 件ごとに技術課題は何であるかを分析した上、これらの課題を解決すると考えられるシーズを対応するシーズ群の中から、1 件ごとの予備調査カードの内容を確認しながら対応づけを行つた。重要度 A ランクの計測対象項目は合計 77 件となつたが、これらのうちシーズと対応づけられたものは約 6 割の 46 件であつた。また

表 10 センサニーズ・シーズ対比表

計測要素 温度(1)

プロセス名	ニ ー ズ			シ ー ズ	
	計測対象	計測環境条件・基本仕様	計測方法、問題点	カード No.	原 理
焼 結	焼結ベッド内温度分布 (内面断面温度分布)	<ul style="list-style-type: none"> 常温から1600°C程度まで急速に昇温する 非接触で常時計測可能である 	<ul style="list-style-type: none"> 外部にセンサを設置して測定する場合障害物をすかして被測定物のみをとらえる必要がある 	81008	赤外エミッションCT(熱線分布測定)
高 炉	(出鉄時の) 溶鉄温度連続測定	<ul style="list-style-type: none"> 温度1400~1600°C 精度±2°C スラグと溶鉄の混在の可能性あり 	<ul style="list-style-type: none"> 高精度放射温度計の適用が考えられるが、高精度の必要性があるのか 耐高熱性のものが必要 	—	—
連 続 鋳 造	鋳片表面温度	<ul style="list-style-type: none"> スケール、蒸気に強い連続計測可能 	<ul style="list-style-type: none"> 何らかの方法でスケール、蒸気を取り除いて放射温度計で計測する 	21042	光ファイバー式放射温度測定システム <ul style="list-style-type: none"> 太径ファイバー バンドルファイバー ←放射エネルギー伝送のため有効断面積大
厚 板	加熱炉内鋼片温度分布または代表点の温度	<ul style="list-style-type: none"> スケールのついた炉内スラブの表面温度:1400°C 炉壁、その他からの外乱光あり 精度±10°C以内 非接触、連続測定 	<ul style="list-style-type: none"> スケール、炉壁からの外乱に強いもの 	—	—
熱 延	炉内スラブ温度	<ul style="list-style-type: none"> スケールのついた炉内スラブの表面温度:1400°C 炉壁、その他からの外乱光あり 精度±10°C以内 非接触、連続測定 	<ul style="list-style-type: none"> スケール、炉壁からの外乱に強いもの 	—	—

対応づけられたシーズは比較的従来の基本技術をエンジニアリング技術で工夫して対応すべきものが多かった。

3. 「最終報告書」の作成について

膨大な調査ができたので、「最終報告書」と「資料編」別冊との2部を刊行すべく大略下記のごとく準備中である。

「最終報告書」目次案

- 1) 序文
- 2) 委員会活動内容
- 3) センサニーズ調査及びシーズ調査
- 4) センサニーズの現状と期待(プロセス別)
- 5) センサニーズの現状と期待(計測要素別)
- 6) センサニーズの現状分析
- 7) ニーズとシーズの対応
- 8) 結言

以上を一冊の本の形で刊行して鉄鋼協会の会員、その他に広く販売し、別冊の「資料編」は数多くの調査結果の表を整理編集したもので、これは必要に応じてコピーし活用していただく予定になっている。

4. 結 言

本調査で得られた成果は次のとおりである。

- 1) 鉄鋼主要プロセスにおける今後の必要計測技術の

把握ができた。従来、部分的には、あるいは各社内では同様な把握はなされていたと思うが、今回のように鉄鋼各社のニーズを全プロセスにわたり、網羅的に調査したのは近年においては始めてであったと考える。

2) 鉄鋼製造プロセスに応用の可能性のある直近のセンサ技術を把握できた。1)と同様、従来各社必要に応じて部分的には調査したと考えられるが、今回のように大々的に行つてはいない。ただし、注目すべき計測技術のかなりのものは、鉄鋼各社計測担当者がある程度の知識をもっていたものであった。

3) 鉄鋼製造プロセスに応用するという観点からセンサ技術の体系を作つた。必ずしも十分とは言えないものの、世の中には各種分類方法が提案されているが、鉄鋼向けという形ではオリジナリティーのあるものと考えられる。

4) 鉄鋼製造プロセスに必要な計測技術は新しい原理のセンサ技術というよりはむしろ既存技術の変形応用あるいはセンサ以外で解決しなくてはならない内容が多いことが再認識できた。

本調査を終了するにあたり加藤健三研究委員会委員長をはじめとし、本務多忙の中この調査に惜しみなき御協力をいただきました鉄鋼各社の関係各位とくにサブグループリーダーとして活躍していただいた新日本製鉄・福田武幸氏に深い感謝の意を表します。