

製鋼工程における自動化、機械化

Automation and Mechanization Operation in Steelmaking Process

藤井 博務^{*(1)}
Hiromu FUJII

抄 録

サブランスの導入及び操業・測定データをベースとしたAIを加味したシステムの採用により転炉吹錬の自動化が図られ、省力化のみならず未熟練工による転炉操業が可能となった。現在、この操業技術の自動化は作業環境改善の観点から遠隔操作化を主体として転炉、二次精錬、連続の各工程で推進される。耐火物整備作業では、転炉築炉作業へのロボットの導入の他に耐火物の不定形化やタンディッシュの熱間回転の如く使用材料の改善や操業形態を変更することにより機械化を容易にしている。諸操業データのコンピュータ処理により、設備故障を未然に防止する設備診断の導入、並びに操業状況のリアルタイム把握によるアクションの自動化や操業者へのCPTでの操業指示を可能にしており、操業を安定化し省力化を可能にしている。

Abstract

The blowing operation in the LD converter has been automated by introducing the sub-lance method and adopting the AI-oriented system capable of automatically controlling the converter operation based on operation and measurement data. As a result, considerable manpower savings have been achieved and the converter operation by unskilled workers has been made possible. Automation is now being promoted in the blowing, secondary refining and continuous casting processes to attain improved working environment mainly through remote control. Progress has been made in the mechanization of refractories maintenance work by improving the maintenance materials and changing the operating practices, typical examples of which are the introduction of robots into converter brickwork, the widespread use of monolithic refractories, and continuous recycle operation of tundish in hot condition. The steelmaking operations have been stabilized, while achieving manpower savings, by preventing equipment failures through the introduction of machine condition diagnosis technology and by establishing the automatic control system which provides relevant instructions and information to the operators based on the results of real-time analysis of operating conditions.

1. 緒 言

高温の溶鋼を取り扱う製鋼工場は、製鉄所の中でも典型的な高熱重筋作業の職場であり、いわゆる代表的な“3K(危険、きつい、汚い)”職場である。従って自動化、機械化のニーズも高く、製鋼技術の発展の歴史がそのことを如実に物語っている。約30年前の平炉から転炉への転換、及び約20年前の造塊から連続铸造への転換が、その端的な例であり、大幅な労働環境の改善と作業負荷軽減が図られた。その後もコスト削減、熟練労働者不足への対応のために自動化、機械化が図られてきた結果、生産面からみると図1に示すごとく、製鋼工程における労働生産性(労働者一人あたりの月間粗鋼生産量)は、粗鋼生産量がほぼ一定の水準であるにもかかわらず、この7年間でみても約5割も増大している。又、この間労働環境面も改善されてきたが、現在、快適な労働環境の構築を目的とした開発に取り組んでおり、この中でも大幅な自動化、機械化を進めている。本稿においては、製鋼一貫工程における代表的な自動化、機械化の事例について述べる。

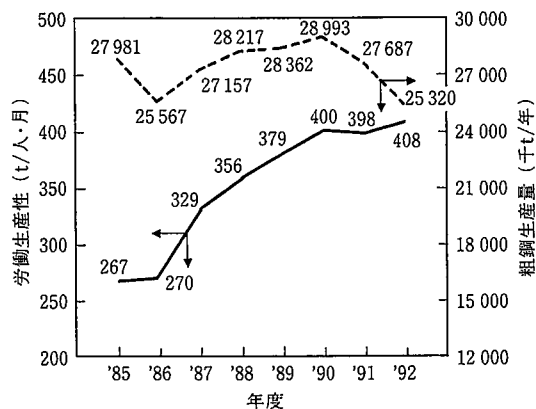


図1 新日本製鐵製鋼工程における労働生産性の推移

2. 製鋼工程における自動化、機械化状況

2.1 操業の自動制御化

作業対象が高熱且つ重量物であることから、製鋼工程での作業は

^{*(1)} 技術本部 製鋼技術部 部長代理

機械による作業が基本であり、人力による作業は高度な技能や判断業務の必要なものであり、単純な機械化では対応が困難なものがほとんどである。

コンピューターを主体とした自動化技術は機械化と不可分のものであり、コンピューターの高速度・大容量化、電気制御部門におけるプログラミングの可能なシーケンサーの採用並びに計装部門におけるアナログからデジタルへの転換による制御精度の向上など、いわゆる DDC (Direct Digital Control) 化により製鋼工程の操業の自動化が大いに進んだ。以下、転炉を例に説明する。

転炉吹錬作業の自動制御の発展の状況を図 2 に示す¹⁾。プロセスコンピューターによる転炉装入原料の条件及び吹止の目標温度・成分を与えたスタティックの制御にサブランスにより吹錬中に採取した溶鋼サンプル情報を追加し、軌道修正 (ダイナミック・コントロール) をすることにより、成分、温度の的中精度を大幅に改善した。このサブランスによるサンプリングは従来の吹錬後に炉を倒してのサンプリングに比較し操業、コスト、労働負荷の面で多大な改善をもたらした。又、最近この採取サンプルの処理が完全に自動化されており、分析工程の省力・迅速化、分析精度の向上が図られ、転炉操業諸元の改善に寄与している^{2,3)}。

1980年代になると吹錬途中の排ガス組成や炉頂圧力の変動等の吹錬状況と相関する諸データを取り込むと共にスロッピング予知のような計算式に現わしにくい情報がエキスパートシステムのような AI プログラムに盛り込まれるようになり、表 1 に示すごとく、未熟練工による操業を可能とした⁴⁾。更に前述の電気計装部門での技術向上に基づき、制御装置が計装盤から CRT 化されることになり、同一の CRT 画面での監視、制御を可能にした結果、多くの転炉で一人吹錬作業を実現すると共に省スペースが可能となり、操作室を統合して要員のプール化も進んでいる。この DDC 化による作業軽減状況の一例⁵⁾ を図 3 に示すが、オペレーターの判断及び動作をプログラム化した結果、オペレーターの操作が大幅に減っていることがわかる。

転炉でのピーク要員作業は出鋼作業であり、要員削減の効果を出すためにはこの出鋼作業での省力技術を確立する必要があるが、転

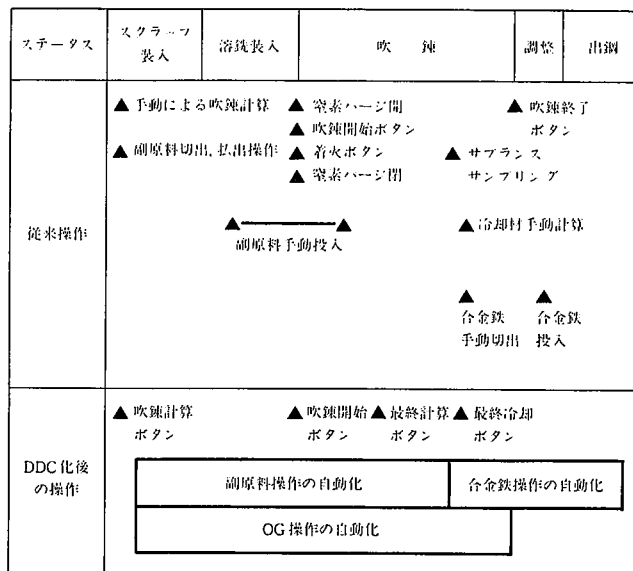


図 3 DDC 自動吹錬状況

炉の傾動、合金鉄の投入、出鋼作業終点判定の一連の作業を転炉操作室からの遠隔操作の検討も進められており、早晚、完全な 1 人/1 炉体制が確立されるものと思われる。

他工程においても同様な自動制御技術の導入が逐次実行されており、大分製鐵所においては 2 基の RH と 1 基の CAS (Composition Adjustment by Sealed Argon Bubbling) 操作室を統合、遠隔操作による要員のプール化及び制御盤の DDC 化、監視、操作の CRT 化により 1 組 3 人での操業を実現している。写真 1 は操作室内部を示したものであり、ITV のモニター画面での操業監視と CRT 操作での対応であり、完全な遠隔操作を可能としている。又、連続鋳造においては、準備作業の簡易化やオートスタート⁶⁾、カッターの中央操作室からの遠隔操作化等の導入により 4 人/基の操業の計画も進められている。

2.2 機械化

製鋼工程においては、その対象が溶鋼ないし重量物であることから操業の基本が機械対応であり、定常的な作業はそのほとんどが機械化されている。しかし、非定常的な作業やオフラインの各種整備作業、鋼片の疵検査のように検出が困難で判断基準が複雑なものを含む工程においては人力が主体のものも多く、その代表的なものが耐火物整備作業である。トーチードカー、取鍋、タンディッシュ (以後、TD と略す) 等の溶銑、溶鋼の運搬ないし分流の容器及び転炉、



写真 1 二次精錬装置統合操作室

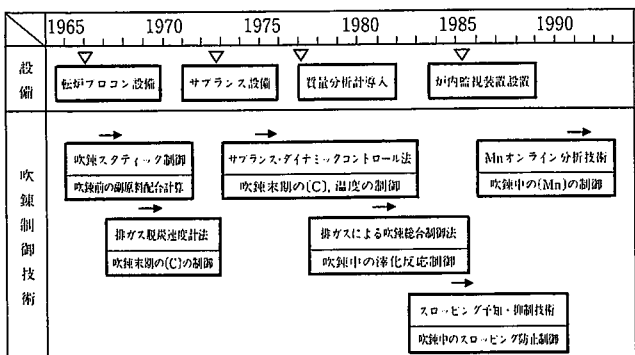


図 2 吹錬制御技術の進展

表 1 吹止め結果の比較

項目	操業手段		未熟練工		熟練工		エキスパートシステム	
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
吹止め [C] (10 ⁻² %)	15.7	3.4	16.6	3.2	17.2	2.7	17.2	2.7
吹止め [Mn] (10 ⁻² %)	51.6	7.0	54.3	7.5	57.1	5.8	57.1	5.8
温度, C 同時的中率 (%)	Base	—	B+5.0	—	B+7.2	—	B+7.2	—
再吹錬率 (%)	Base	—	B-2.8	—	B-0.2	—	B-0.2	—

RHなどの精錬容器における煉瓦積み作業、使用後の壊し作業、稼働中の容器への耐火物の吹付け作業などがある。これらの作業は粉塵が多く、また吹付けなどでは高温の環境下での作業であり、3K作業の一つである。従って、この分野においても、逐次機械化が進められている。

耐火物を煉瓦から不定形耐火物に変更することにより機械化導入⁷⁾を容易にしたり、溶射機⁸⁾の導入、ロボットによる煉瓦積み化などがある⁹⁾。

現状技術では、転炉のように1,700°C以上の高温にさらされる耐火物までは不定形化が対応できておらず煉瓦積みによる築炉を行っているが、名古屋製鉄所においてはこの築炉作業⁹⁾をロボットにて行っている。図4に示されるごとく、煉瓦積みの順序に予め梱包された10数個の煉瓦が一つのパレットに乗せられ、ロボットが待つ場所へ自動的に運ばれる。ロボットは煉瓦映像を画像処理して煉瓦位置を検出し、そのデータを基にして煉瓦の上まで自ら移動して、ゴムパッドの吸引盤により1個約50kgの煉瓦4個を掴むことができる。この煉瓦位置認識方法により±100mmまでの範囲でロボットは煉瓦の供給誤差に対応することができる。ロボットは、最初に積み込む位置のみ教示すると、その後は実際に積み込んだ位置を計測、記憶して次回の積み込む位置を自己演算する機能を有している。又、アームは、ベアリングとエアシリンダー等を装備しており、熟練の煉瓦工が煉瓦を押し込んで積む様に適度な押付け力を煉瓦に付与できるようになっている。

この装置の導入により、約6割もの工数削減を果たした。又、炉内での煉瓦積み作業は、その作業環境の悪さから典型的な3K作業の一つであったが、それが解消されたことも大きな改善点である。

以上の二例は、オフライン耐火物整備における機械化について紹介したが、稼働中の取鍋の整備作業やRH浸漬管耐火物の補修などは更に高温の悪条件が付け加わる。(株)神戸製鋼所加古川製鉄所では、取鍋の整備作業の負荷軽減のために集塵、遮熱による作業環境改善を図ると共に、徹底的な機械化を行うことにより従来の約半分の要員での対応がなされている¹⁰⁾。

耐火物の溶損箇所の補修方法も単なる吹付けからより優れた耐用性を得るため燃料ガス、酸素と共にノズルから粉体耐火物を溶けた状態で吹付ける溶射方式があり、転炉¹¹⁾、取鍋¹¹⁾、RH¹²⁾等へ適用されている。図5はRH下部槽へ適用している模式図である。溶射バーナーランスが高温の下部槽内で自由に屈曲する構造にすることにより、浸漬管中心部からの距離が一定でない側壁を溶射できるようにしている。この方式を導入した結果、RH下部槽耐火物を約半分に低減¹²⁾できた。

現状は炉内監視カメラからのモニター画面情報により溶射位置、溶射量を決定しているが、レーザー距離計による溶損や耐火物面の

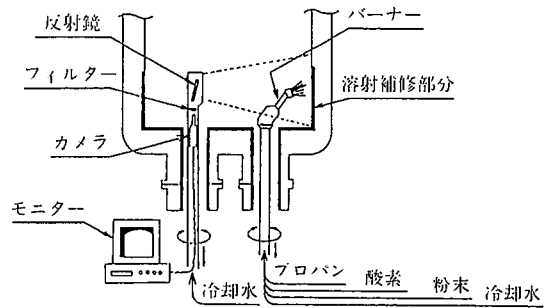


図5 RH槽の溶射装置

情報の画像処理化などの組合せにより、溶射の必要量を判断し自動的に溶射補修を実施することも検討されている。

操業方式を改善することにより、大幅な自動化を実行した例として、連続铸造におけるTDの熱間回転がある^{13,14)}。熱間回転のポイントは、铸造後に直ちに残湯及び滓を排出することであり、その一例を図6¹⁴⁾に示すが、铸造終了後、2分以内にTD底部より残湯排出を開始する。排出完了後、铸造に使用したイメージジョンノズル(以後、INと略す)は同じく铸造に使用したストッパーで押し抜き、IN交換装置に回収する。続いて、同一のIN交換装置にてノズル羽口を

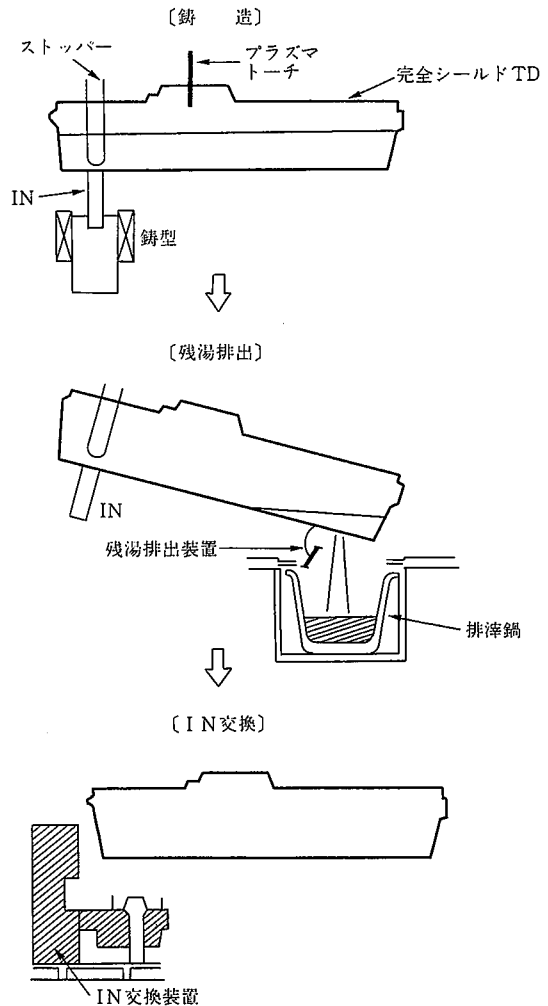


図6 TDホット回転フロー

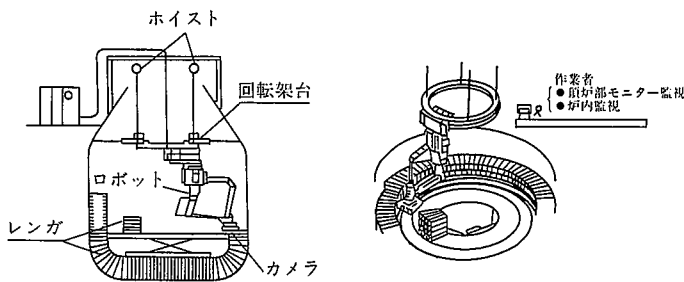


図4 築炉ロボット概要図

清掃した後、予熱が完了した新しいINを装入してTD整備を完了する。その後、直ちに予熱することなく、次の铸造に入る。铸造毎にTDを整備する従来の方式と比較し、TD整備工数、耐火物並びにエネルギー面で大幅な削減が図られた。

2.3 操業、設備の管理化

計算機の記憶容量面での機能向上と各種測定機器を活用して、操業、品質並び設備を管理するシステムが紙での操業指示を無くしたペーパーレス化も可能とし、大きな省力効果を果たしている。

2.3.1 操業・品質管理システム

製鋼工程の成品であるスラブの品質判定には、サルファープリントやスラブでのUSTのように直接測定されたデータに基づくものもあるが、そのほとんどは操業データからの推定により行われている。即ち、操業データと後工程からフィードバックされる最終成品の品質データとの相関関係から、製造基準を決めるのみでなく、操業実績によるスラブの合否判定および処置がすべて計算機により自動的に行われている。従前は現場での操業を品質管理部門の人間が観察し判定をしていたが、管理メッシュの細かさや迅速な対応性並びに基準の多様化、データの計算機へ直接取り込みなどからこのような品質管理システムが構築されたが、現状の品質管理には不可欠のものである。

又、操業ガイドをCRT画面を通じて表示することも行われており、その一例として名古屋製鐵所での“モールド可視化技術”¹⁴⁾がある。図7は本技術のシステム構成を示したものである。TD及び鋳型からの各種データにより品質に関する種々の指標（製鋼中間品質指標）を簡易モデルにてリアルタイムに演算し、その結果を上位計算機へ送り鋳造中の材料の必要品質特性を考慮した品質格付け状況をCRT上に可視化表示すると共に、各指標が適正域に入るように電磁ブレーキ印加等のアクションをとる指針とその実績の確認を可能とするものである。

2.3.2 物流管理システム

製鋼工場では、転炉—二次精練—連続鋳造間のマッチング、更にはDR (Direct Rolling), HCR (Hot Charge Rolling) における連続鋳造—熱間圧延間の時間管理が重要な業務である。従来は“生産管理部門”が各工場ないし操作室での電話連絡を採りつつ調整していたが、現状は計算機による物流管理がなされる結果、従来に比較してより細かく、且つ高度な調整を可能としている。

スラブの置き場管理も物流管理の一つであるが、置き場管理のみでなく、クレーン端末でのスラブ重量、スラブ寸法をチェックすることで異材混入防止を図っている。

2.3.3 設備診断システム

設備の動態から、故障箇所を発見する設備診断システムも自動化の一つである。モーターの電流値冷却水の温度、装置の振動などを測定し、正常な運転状態との差を検出することで未然に故障を防ぐ方法である。これも、従来は点検マンがやっていたが、その要求される技能レベルの高度化、多様化、現象の複雑化から計算機による管理システムが不可欠になっている。効果の一例を図8に示す。図は、大分製鐵所第四連鋳機の故障時間を指数表示したものであり、1989年に点検マンによる診断システムから“連続鋳造設備オンライン監視システム”に変更した。その結果、図8に示すような大幅な改善効果が得られている。

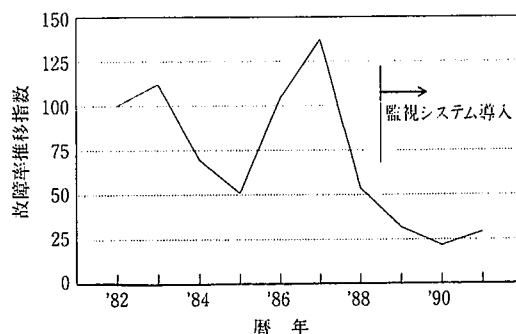


図8 連続鋳造装置における故障推移例（大分 第四CCM）

3. 結 言

以上、製鋼工程における自動化、機械化についての概要を述べた。生産性の増大によるコスト競争の維持向上のためのみでなく、熟練労働者の不足、若者の製造業離れ、更には最近各社で取り組まれている“快適な職場環境づくり”の開発等から今後とも自動化、機械化は進められると思われる。又、機械化、自動化の進捗状況を見ると、溶鋼を取り扱う製鋼工程においても完全無人運転の工程も実現するものと思われる。

この自動化、機械化を進める上で以下のような課題が考えられる。

- (1) 省力化が実現された後には、トラブル等の異常作業への迅速な対応が非常に困難となる。そのためその未然防止のための技術・装備対応並びに異常処置作業の機械化
- (2) ロボット等の自動化機器の整備及び各種システムの維持管理面での簡易化のための設計の標準化のいっそうの推進
- (3) 現状作業を自動化、機械化が容易な作業への改善

参 照 文 献

- 1) 島 孝次：鉄と鋼. 76, 1765 (1990)
- 2) 熊倉 政宣 ほか：材料とプロセス. 5, 217 (1992)
- 3) 転炉分析作業のFA化. 鉄鋼新聞 他. (1993.5.14)
- 4) 金本 通隆 ほか：鉄と鋼. 76, 1964 (1990)
- 5) Kumakura, M. et al : 1st. European Oxygen Steelmaking Congress. 1993, p. 114
- 6) 奥村 恭司 ほか：材料とプロセス. 4, 306 (1991)
- 7) 田中 英雄 ほか：耐火物. 30 (4), 223 (1978)
- 8) 前田 一夫 ほか：耐火物. 36 (11), 654 (1984)
- 9) 伊藤 泰則 ほか：IE事例研究分科会. (1993)
- 10) 江波戸 紘一 ほか：R&D 神戸製鋼技報. 43 (1), 41 (1993)
- 11) 島川 康平 ほか：鉄と鋼. 73, S990 (1987)
- 12) 浅野 敬輔 ほか：材料とプロセス. 2, 1116 (1989)
- 13) 三科 陽弘 ほか：R&D 神戸製鋼技報. 40 (2) 73 (1990)
- 14) 白井 登喜也 ほか：材料とプロセス. 6, 1166 (1993)
- 15) 岡崎 照夫 ほか：材料とプロセス. 7, (1994) 発表予定

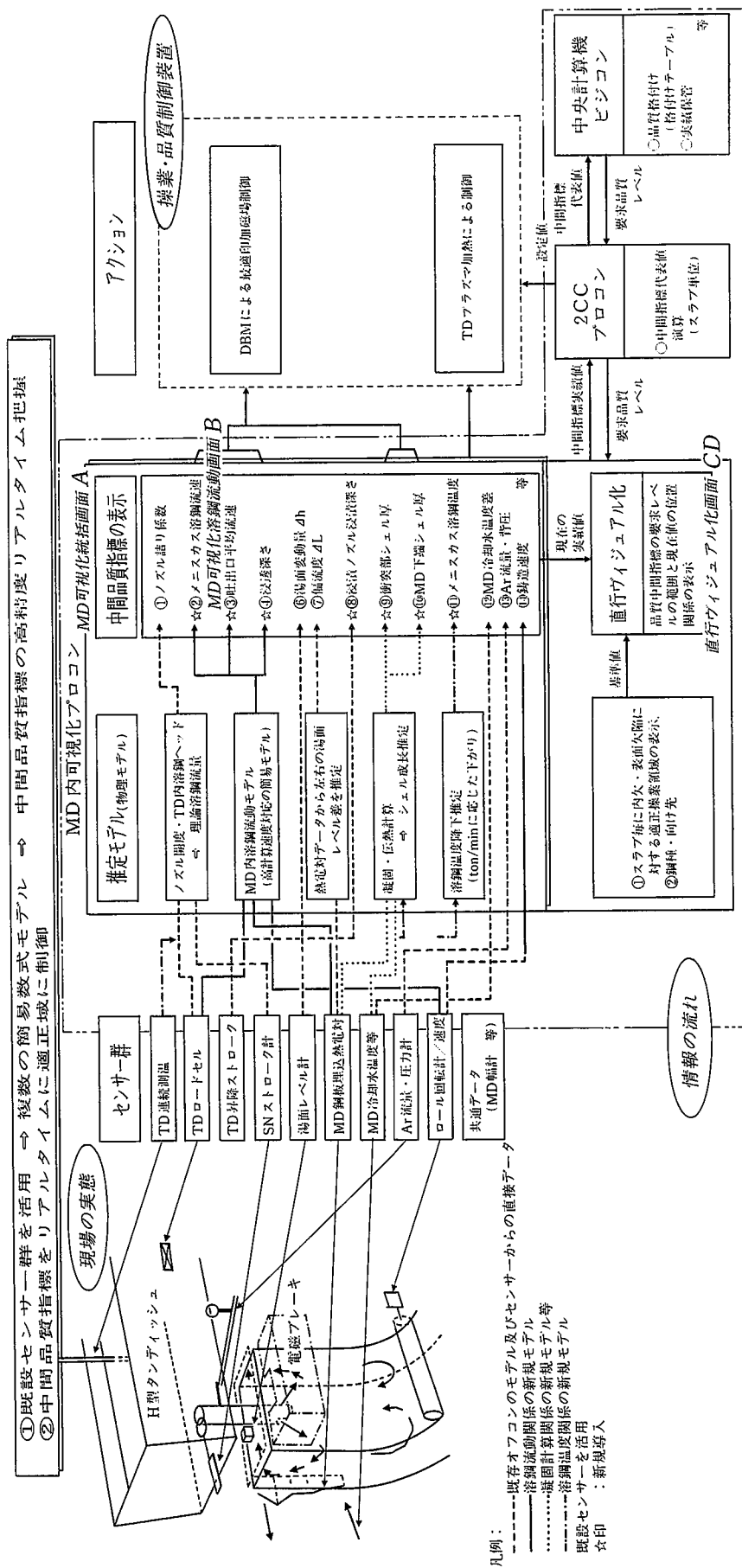


図7 モールド(MD)内可視化技術のシステム構成