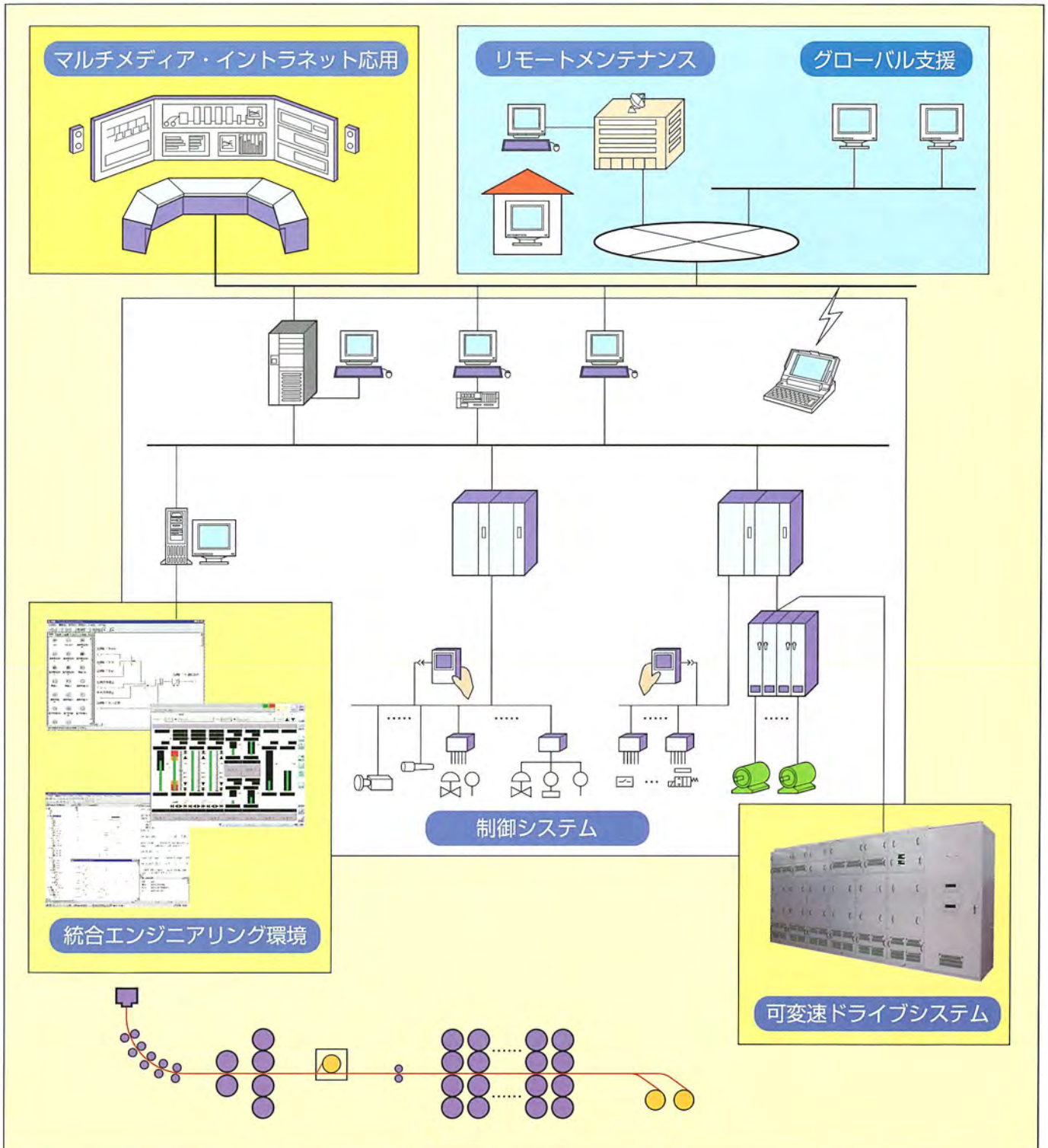


MITSUBISHI

三菱電機技報 Vol.74 No.5

特集「鉄鋼を支える最新技術」

2000 5



目次

特集「鉄鋼を支える最新技術」

| | |
|--|----|
| 文明を支える鉄、鉄を支える技術 荒木光彦 | 1 |
| 鉄鋼プラント用電機品の展望 大塚貞正・米増享二 | 2 |
| プラントトータル操業・保守支援システム 山中喜美雄・小林 靖・吉田幸彦 | 6 |
| 製鉄・製鋼プラント用電機品 渡辺直和・村中隆生 | 10 |
| 熱間圧延プラント用電機品 岡本 健・下田道雄・中川佳昭 | 16 |
| 冷延・プロセスプラント用電機品 山中宣也・久保直博・高柳誠治 | 21 |
| 鉄鋼プラント用可変速ドライブシステム 増田博之・吉村 誠・豊田 勝・山本国成 | 26 |
| 鉄鋼プラント制御用計算機システム 松田茂彦・平塚紀嘉・水野秀司 | 33 |
| 鉄鋼用プラントコントローラシステム 菊地原博夫・平山光憲・支田誠一・布勢啓一 | 39 |
| 熱間圧延における品質制御の異常診断システム 若宮宣範・新田勤子 | 45 |
| 鉄鋼プラント用溶接機と誘導加熱装置の最近の動向 宮田淳二・袖野恵嗣・江口俊信 | 49 |
| レーザ走査型センサを用いた厚板キャンバ計 杉山昌之・中島利郎・田壺宏和・段 儀治・藤内秀人 | 55 |

特許と新案

| | |
|----------------------------------|----|
| 「動き補償予測符号化装置及び動き補償予測復号装置」「符号化方式」 | 61 |
| 「形状測定装置」 | 62 |

スポットライト

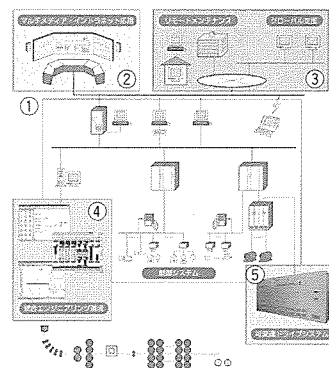
| | |
|----------------------|------|
| マルチメディア情報集配信システム | 60 |
| キャンバ計・板幅計用高分解能エッジセンサ | (表3) |

表紙

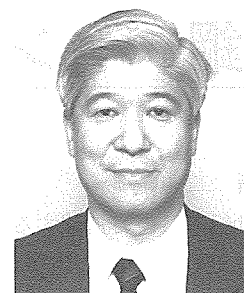
鉄鋼プラントを支える最新技術

三菱電機では、従来のプラント用電機品の製造・開発に加えて、IT (Information Technology) 技術を核に鉄鋼ユーザーの“最少要員で競争力のある製品造りと総投資コスト (Total Cost of Ownership: TCO) ミニマム化の実現”を支援するため、各種の技術革新とソリューションを提案している。

①は製品造りのメインとなる制御システム、②はマルチメディア・イントラネット応用、③はリモートメンテナンスとグローバル支援、④は統合エンジニアリング環境、⑤は可変速ドライブシステムである。



文明を支える鉄，鉄を支える技術



京都大学 大学院
工学研究科

教授 荒木光彦

歴史の教科書には“BC1900年頃，オリエントで始めて鉄器を使用したヒッタイトは，その優秀な鉄製武器によって古バビロニアを征服した”とあります。学会でトルコを訪問した機会に，ヒッタイトの旧都ボガズケイを訪れて感慨を覚えたものです。一方，中国史に“鉄製農具の使用により生産性が飛躍的に向上し・・・”という一節もあり，かれこれ3000年にわたって鉄を作り使う技術が文明の在り様を左右してきたと言えましょう。昨今，ミレニアムという言葉が盛んに使われておりますが，“新ミレニアムにおいて，鉄が他の素材にとって代えられるか？”といえは，私は“ノー”の方に賭けます。硬くて強くて強磁性であること，それらの性質が混ぜものと作り方でかなり広範囲に調整できること，人間が比較的容易に利用できる形で大量に存在すること，加えてシステムさえ整えれば高率でリサイクルできることなどの要件を満たす素材がすぐに現れるとは思えません。

次に，この鉄を支える技術について，私の専門とする自動制御の立場から少し考えてみたいと思います。私は軽薄短小の代表選手たる電子工学科の卒業ではありますが，重厚長大の中心に位置する鉄鋼業にはかねてから親近感を持っておりました。その結果，鉄鋼協会学会部門の計測制御システム部会の準備・設立・運営にもかわり，鉄を支える技術についていろいろ勉強させていただきました。その中から，次世代技術の種を捜してみます。

鉄鋼協会の学会部門では，フォーラムと研究会という形でそれぞれのテーマ，トピックスを追い掛けています。その中で，制御フォーラムはモデリングを中心として展開しています。また，研究会では，最初の3年間“多変数制御

系のオンライン調整の基礎”をテーマとし，現在は，“大量データをベースとした省力化のための診断・制御の高度化”を目標として活動しています。この，“モデリング”“多変数オンライン調整”そして“大量データ”を結ぶ線上に次世代技術が待っているのではないかと予想します。

私はここ20年程(大学の教官としては珍しく)PIDの研究を続けてきて，優れた技術者が十分調整したPID制御系は，与えられた制約条件の中で対象とするプラントの範囲における最適状態を実質的に達成しているものと信じております。ではPIDだけで十分かと言えば，そうではありません。“優れた技術者”を得るのが難しい，優れた技術者といえども多数のPIDの調整には“手間暇かかる”，対象が変化するごとに“再調整が必要”，“システム全体を見通す”のは技術者の経験力量にかかっている，計算機に“蓄えられたデータを系統的に生かす”方法はPIDの視点からは得られない，など問題は山積しています。こういった問題についてこそ，現代制御理論と総称される最近の成果を使うべきでしょう。PIDと同じ地平で競争するのではなく，モデリングの要件・方向，制御性能の限界，制御系調整の指針などについてシステム全体の視点から解答を与えるというのがその使命と考えます。それでは制御理論において最近の計算機技術が十分に利用されているかと言えば，必ずしもそうではない面があると思います。数値計算法の駆使という面での利用はかなり進んでいますが，蓄積データの有効利用という側面ではまだまだ成果が上がっていないのが現実です。この方向での新展開があったとき，1ランク上の“自動化”が実現するものと想像しております。

鉄鋼プラント用電機品の展望

大塚貞正*
米増享二**

要旨

20世紀において飛躍する産業界のかなめ(要)として鉄鋼市場は急速に拡大し、それとともに、新技術の開発と導入において常に産業界の先導的役割を果たしてきた。

特にこの四半世紀は、半導体技術の進歩とともに、コンピュータ、プラントコントローラ、ドライブシステムなど電機品は飛躍的な進化を遂げてきた。

現在、中国・アジア・南米を中心に鉄鋼製品の需要は増大し設備投資も拡大している。しかし、北米・欧州・日本においては、生産能力と需要との需給ギャップがあり、以前のような市場としての伸びは期待できない。

このような状況下、鉄鋼ユーザーの投資目的は合理化・省力化・製品品質の向上に向けられており、三菱電機は、“競争力のある製品造りと総投資コストの最小化”をサポートする鉄鋼用電機品の提供を目指し、図に示すように四つのアプローチでこれに対応する。

高品質化と自動化については、従来の品質制御をしの(凌)ぐ超安定化システムの適用、プロセスの異常検知と自動復旧による完全ノータッチオペレーションの実現、インテリジェントセンサによるプロセスの可視化によってオペレータが最終判断を容易に的確に行える環境を提供する。

高効率化・省エネルギーについては、高効率電源を追求

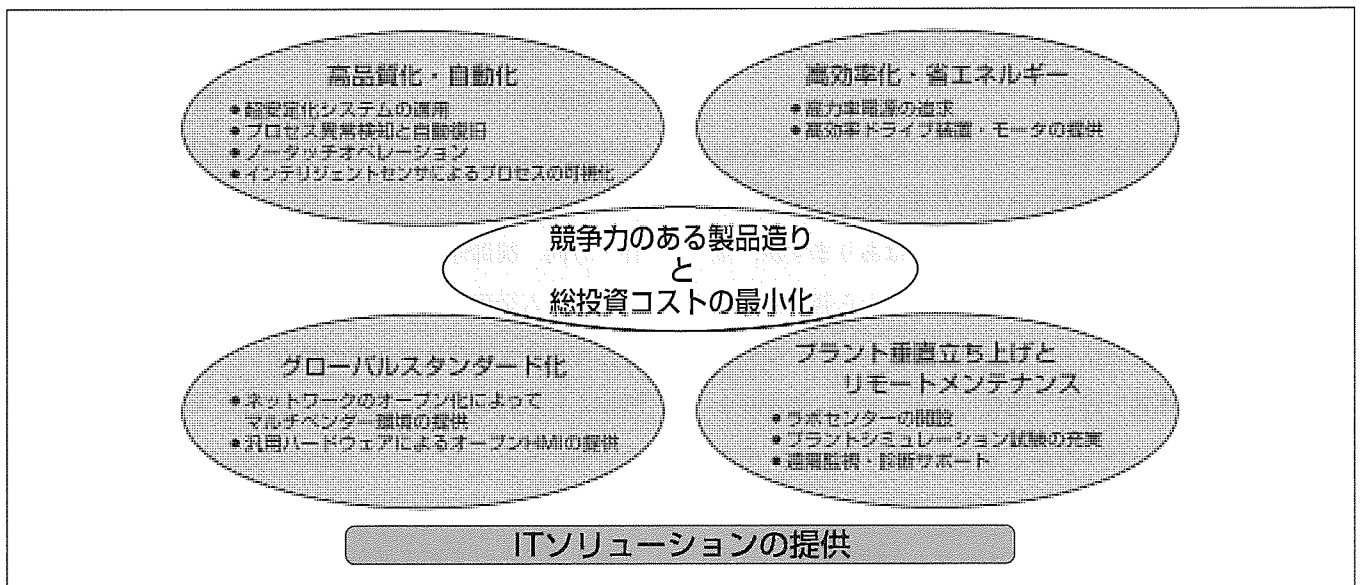
し、高効率ドライブ装置とモータを提供する。

グローバルスタンダード化への対応としては、ネットワークのオープン化によるマルチベンダー環境、汎用ハードウェアによるオープンHMI(Human Machine Interface)を提供している。

プラントの垂直立ち上げとリモートメンテナンス環境を実現するために、ラボセンターでプラントシミュレーション試験を行い工場出荷品質の向上を図る。さらに、ラボセンターからの遠隔監視やトラブル解析サポートを容易に行うことができる。

さらに近年、急激な勢いで伸びてきたマルチメディア技術、インターネット技術、イントラネット技術、モバイル端末、画像圧縮技術などにより、遠隔集中監視、現場と中央の双方向協調保守作業、バーチャルリアリティ応用システムが現実のものとなってきた。

これらIT(Information Technology)ソリューションは、今後の鉄鋼プラントのシステムを大きく変えるとともに、事業競争力強化のキーテクノロジーとなる。今後当社は、鉄鋼プラントについて、ユーザーニーズをITソリューションとして展開し提供していく。



三菱電機の鉄鋼用電機品コンセプト

ユーザーの“競争力のある製品造りと総投資コストの最小化”をサポートするため、当社は各種IT技術をベースとした鉄鋼用電機品を提供していく。

1. ま え が き

この四半世紀、半導体技術の進歩とともに産業界はその生産構造において飛躍の変化を遂げた。鉄鋼プラントにおいてもコンピュータ、プラントコントローラ、ドライブシステムなど電機品が長足の進歩を遂げ、操業の自動化、歩留りの向上、製品品質の向上に貢献してきた。

ミレニアムという区切りの年に鉄鋼特集を組むに当たり、本稿では、鉄鋼プラントの発展に貢献してきた三菱電機の各種電機品の変遷を振り返るとともに、21世紀の展望について概要を述べる。

2. プロセス制御技術

板厚・板幅の寸法制御、形状制御、及び温度制御等の品質制御技術とオペレータの負荷を軽減するための操業自動化制御を合わせたプロセス制御技術は、鉄鋼プラント操業の基本技術と言える。この技術は、圧延等のプロセスと操業形態を実績データの分析を通して詳細に把握し、圧延理論・伝達理論の上にモデリングし、制御理論を利用して制御機能として実現させるものである。

当社は、鉄鋼プラントの総合電機品供給メーカーとして、過去30年以上にわたって熱間圧延設備、冷間圧延設備及び各種プロセスラインにおいてプロセス制御技術を開発し供給するとともに、ユーザーニーズに合わせて機能・性能を向上させてきた。熱間圧延ラインを例にとってみると、以下のような制御技術がある(表1)。

これらの制御技術を実現するために、制御理論としては、現代制御理論、多変数制御理論、ファジー制御理論、ニューラルネットワーク制御技術等が適用されてきた。

1990年代前半まではこれら品質制御は単一機能ごとの制御が主流であったが、図1に示すように、'90年代後半以降は品質精度の向上要求によって単独制御では限界に近くなり、非干渉化を含んだ複合協調制御技術の開発を目指すようになってきた。

すなわち、板厚-張力-板幅の複合制御技術であり、板厚(各スタンドでの圧下率)と温度とを一体化した材質制御技術である。このような複合協調制御の実施では、熟練オペレータの減少とあいまって、介入操作は非常に困難な

ものとなり、介入レスのシステムを目指した一層の通板安定化技術が要求される。

通板安定化のためにはマスフロー安定化技術が最重要であり、ミルモータの応答性アップ、高精度多変数ループ制御、AGC動作時のマスフロー補償によって実現してきた。

また、操業安定化のためには、操業時の品質悪化及び操業異常時の原因究明を素早く的確にする必要がある。

このため、操業時の各種実績データを収集しオンラインで分析することにより、操業監視、異常時の原因推定を支援する操業支援機能を開発し一部実用化している。

さらに、各種制御機能の最適ゲインの調整においても、計算機上に構築されたデータベースのプロセス実績データの分析と簡易シミュレータを利用した自動ゲイン同定機能も一部開発している。

このように、今後とも更に高まる製品の高品质化、操業の高効率化、安定化、省人化の要求にこたえるため、当社は、操業プロセス解析技術を駆使して総合的な品質プロセス制御を提案し供給していく。

3. 可変速ドライブシステム

鉄鋼用可変速ドライブシステムは、高性能化・高効率化の要求を実現するために改良が重ねられてMGセット、サイリスタレオナードによる直流電動機から、サイクロコンバータを用いた交流電動機駆動を経て、電圧型インバータを用いた交流可変速ドライブシステムが適用されるに至っている(図2)。これらの改良は当初は性能と効率を中心に行われたが、電源力率の悪化、高調波の増加という形で電源に対する負担が増大した。サイリスタレオナードやサイクロコンバータといったサイリスタを用いた変換器の場合、大量の力率改善コンデンサや高調波フィルタが必要であり、設備計画上大きな負担になるとともに、電源システムの安定運用に支障を来す可能性が高まり、改善が望まれていた。電圧型インバータを適用することで、これらの問題も解決され、交流電動機の特性とあいまって、理想的なドライブシステムが実現できた。

特に当社は6インチ型GTO素子(Gate Turn-off Thyristor: ウェーハ径15.24mm)を世界に先駆け開発し、これを適用した3レベルGTOインバータの市場投入によってこ

表1. 熱間圧延ラインにおける制御技術

| 項目 | 制御技術 |
|--------------|---|
| 加熱炉関連 | 加熱炉燃焼制御技術 |
| 生産量関連 | ミルベising制御技術 |
| 板厚関連 (速度) | 粗・仕上げセットアップ技術 ロールフォースAGC, 絶対値AGC, マスフローAGC |
| 張力関連 | ループレス制御技術, ループ多変数制御 |
| 形状関連 | 形状セットアップ技術, フィードバック制御技術 |
| 温度関連 | 仕上げ温度制御技術, 巻取り温度制御技術 |

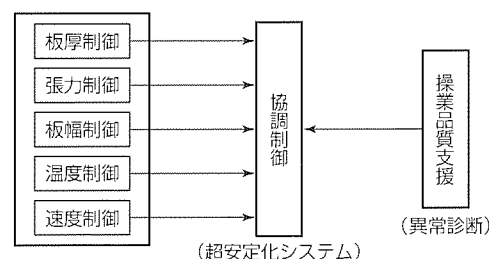


図1. 制御の階層化

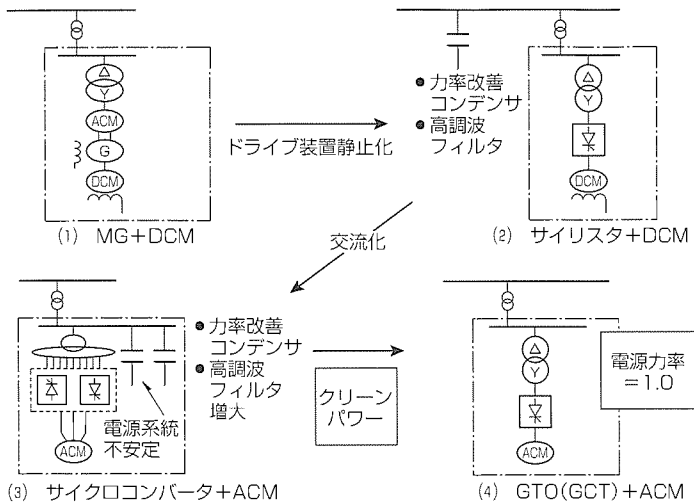


図 2. 可変速ドライブシステムの変遷

の動きを加速した。'95年以降GTOインバータの導入が急激に増加し、現在では、主機はGTOインバータ、補機はIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)インバータという形で電圧型インバータを適用する世界の流れをリードしてきた。

既設更新案件においても電源設備を更新する必要がないため適用が容易であり、併せて拡大の一因になっている。

さらに、6インチ型GTOの次世代ドライブ装置として、6インチ型GCT(Gate Commutated Turn-off Thyristor)を開発した(図3)。GCTは、スナバ回路が不要なために、より高性能・高効率で、また信頼性も高い電圧型インバータを実現できた。GCT素子は基本構造がGTOと同一であり、GTOで培った技術を適用できることも実績に基づいた信頼性を確保できる点で魅力である。

図4に示すように、今後IGBTインバータの適用範囲が拡大するとともに、大容量域では6インチ型を中心としたGCTインバータのシリーズ化が充実し、プラントに応じた最適なドライブシステム構築が可能になる。

4. コントローラシステム

'70年代半ば、鉄鋼プラントの電気・計装分野にPLC(Programmable Logic Controller)、DCS(Distributed Control System:分散型制御システム)が導入されて四半世紀が経過した。この間に、制御システムに関しては、“電気制御(E)と計装制御(I)の融合”“監視と制御を中心とした役割から情報処理システムと連携した生産管理領域までを支援することへの要求”と、その役割は拡大を続けている。また、制御機能のうち情報処理を中心に、高速大容量計算機として産業用計算機(プロセスコンピュータ:C)が発達した。

'80年代半ば、鉄鋼プラント等の高速制御(圧延領域)が要求される領域においてもCRTオペレーションが導入さ

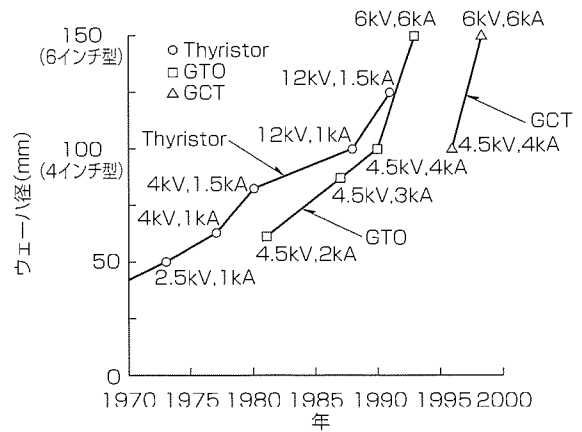


図 3. 電力用半導体の進展

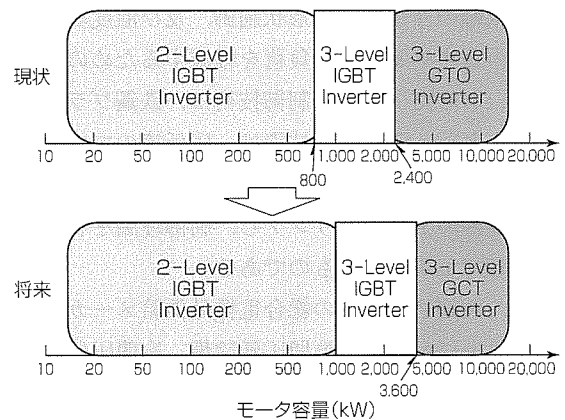


図 4. 鉄鋼プラントへのドライブシステム適用マップ

れ、プラント監視・操作に新しい流れが生まれた。一方、計装領域(加熱炉制御など)では、早くからDCSが導入されCRTオペレーションが行われていた。この結果、鉄鋼プラントの運転室には、PLC用CRT、DCS用CRT、さらに計算機用CRTが並ぶという事態が発生した。さらに、省力化要求(電気要員・計装要員の統合等)が高まってきた時期でもあり、これらの課題を解決するシステムとしてE(電気)・I(計装)・C(計算機)のEIC統合制御システムを提案し提供してきた。

さらに、情報処理システムにおけるオープン化とダウンサイジング化の流れは鉄鋼制御システムにも及び、現在グローバルスタンダード化に向かって急速に進んでいる(図5)。

産業用計算機は従来独自のEIC統合システムの構成要素として専用マシンを適用したが、今後用途が限定され、その大半は汎用EWSや汎用パソコンに置き換わり、IT技術の適用が容易になり、EUC(End User Computing)が加速される。

また、従来シングルベンダーで閉じていた制御用ネットワークやHMIについても完全にオープン化され、いよいよマルチベンダー/汎用ハードウェアの適用が実現される。

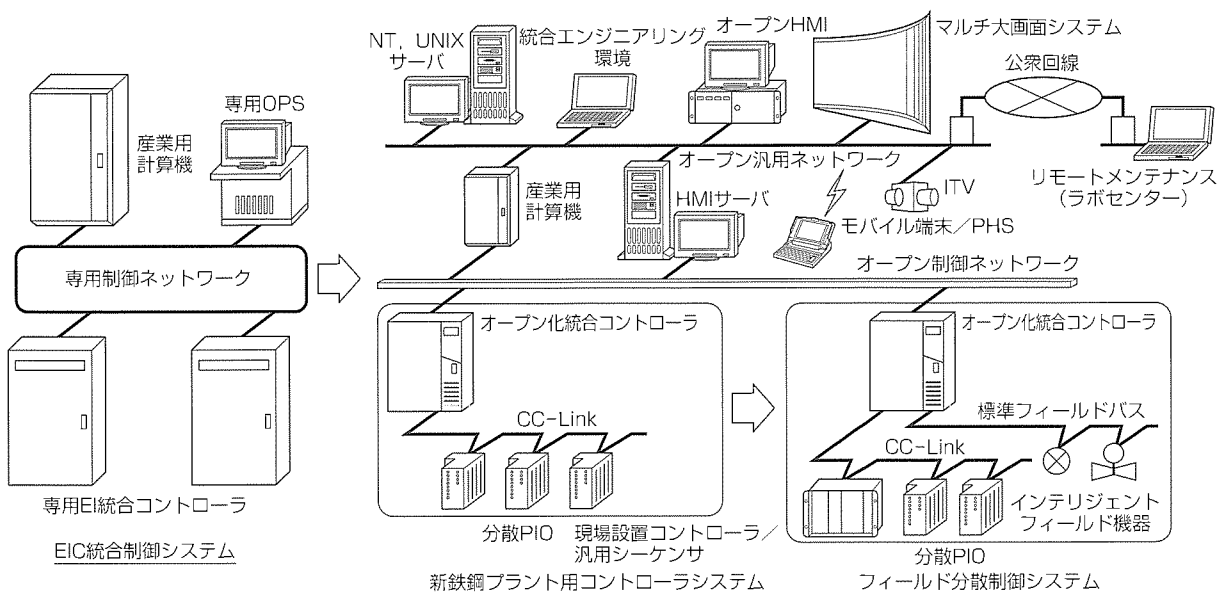


図5. 鉄鋼制御システムの変遷

PLC領域では、汎用シーケンサの適用範囲が拡大する。

一方、PLC出現当初のエンジニアリング環境は簡単なエディタ機能とプログラムダウンロード程度で、プログラム言語もPOL、DDC、ラダーなどのみであった。当社は、エンジニアリングやメンテナンス性を考慮した高位言語MCD(Macro Control Diagram)をベースにしたエンジニアリングツールMELSUCSES(Mitsubishi Electric Schematically and Universally Connected SE System)をこの10年間サポートしてきたが、視認性の良さ、余分なりソース管理からの開放、トラブル時の迅速な原因究明(MCDジャンプ機能)など、ユーザーからの圧倒的な支持の下、今後ともこれを踏襲する。

他方、インタオペラビリティの要請から、今後国際標準言語(IEC61131-3、IEC61499等)の適用が始まるであろう。当社は、上記MELSUCSESの利点を加味しながらこれら国際標準言語も併せてサポートしていく。

さらに近年急激な勢いで伸びてきたマルチメディア技術、インターネット技術、イントラネット技術、モバイル端末、画像圧縮技術などにより、遠隔集中監視、現場と中央の双方向協調保守作業、バーチャルリアリティ応用システムが加速化され、パルピットの統合化やラインごとの保全事務所の工場ごとの統合化が実現する。また、工場内にとどまらず、在宅保守や当社工場からのリモートメンテナンスが可能になる。

5. センサシステム

センサ技術は、検出デバイスとデータ処理プロセッサのそれぞれの進歩によって発展してきた。

一例として、鉄鋼プラントにおけるクロップ形状認識センサを考えると、当社は既に画像処理技術を'82年にオン

ラインセンサとして本格的に採用しているが、十数年後の現在、センサ技術の空間的処理能力としては、当時の数百倍を超えるレベルに達している。しかしここに来て、次世代センサは、むしろ、検出デバイスとしての空間的解像度や、レーザ波長・出力における画期的なブレークスルーが強く望まれる。また、近年急激な勢いで伸びてきたマルチメディア技術、画像圧縮技術などバーチャルリアリティ応用システムにより、視認性の充実が現実のものとなってきた。

また、データ処理プロセッサでは、データマイニング(規則的な因果律に拘束されずに、混とん(沌)としたデータ群からの真値の推論をする新しい試み)も可能性を持つ。これは、計測真値の予測による操業システムの障害予知や最適操業支援等を実現させ、より高度なインテリジェンスを持つ次世代センサシステムとなる。

6. むすび

鉄鋼プラント製品は、今後更に高品質化、生産性向上、製造プロセスの革新が追求される。この技術革新のキーワードがITであり、当社は鉄鋼ユーザーの総投資コスト最小化をサポートする鉄鋼用電機品の提供を目指し、この特集の冒頭で“プラントトータル操業・保守支援システム”を提案する。

さらに、鉄鋼プラントを支える電機品について、特に制御システム、ドライブシステム、品質制御、溶接機と誘導加熱装置、形状センサについて紹介する。

総合電機メーカーである当社の幅広い製品と技術を結集し、今後とも鉄鋼プラントの発展に貢献していきたい。

これからも関係各位の御指導、御協力をお願いする次第である。

プラントトータル操業・保守支援システム

要 旨

三菱電機では、従来のプラント用電機品の製造・開発に加えて、IT (Information Technology) 技術を核に、最少要員で競争力のある製品造りと総投資コスト (Total Cost of Ownership : TCO) ミニマム化の実現を支援するため、各種の技術革新とソリューションを提案している。

(1) 製品品質向上

- 超安定制御システムによるノータッチオペレーションの実現
- 製造プロセスにおける異常監視自動化及び自動復旧
- インテリジェントセンサによる制御プロセスの可視化

(2) 高度省力化

各ラインごとのバルピット (運転室) 統合化はかなり実現されているが、今後更にこれらを複数ラインまとめた統合バルピットを実現することによって高度省力化、リソースの統合削減が可能になる。これらを実現するために、前述のインテリジェントセンサによるプロセスの可視化、ITV

画像のデジタル化、イントラネット、メディアコントローラ、マルチ大画面システムなどインフラ整備と高度情報集約が必要になる。

(3) オペレータ保守支援

今後、オペレータによる一次保守実現や、イントラネットや携帯端末による現場保守支援環境が必要となる。

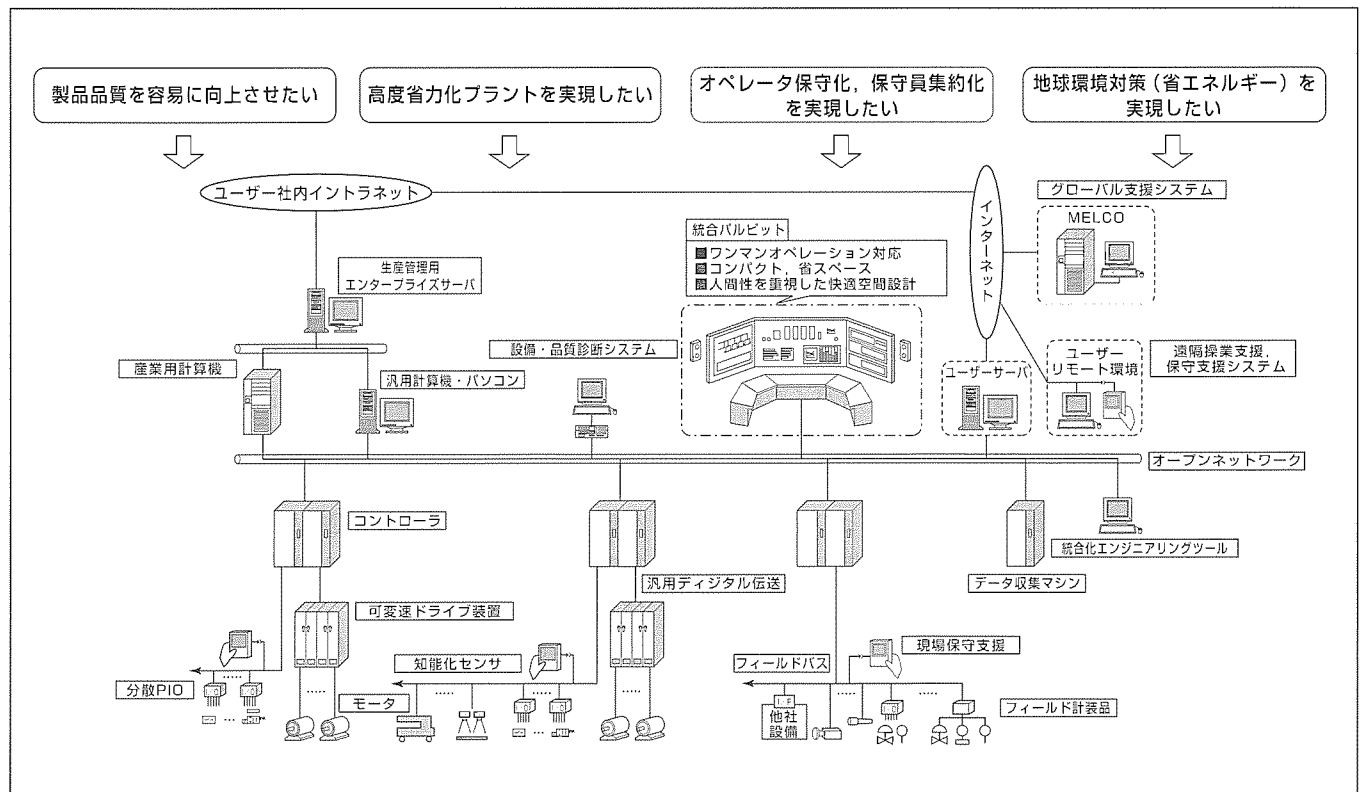
当社では、これらの実現に向けて以下を提供する。

- インターネットとイントラネットによるリモート保守支援
- 携帯端末による現場保守支援
- 保守エージェント機能によるオペレータ保守支援

(4) 地球環境対策

地球温暖化対策の一環として、当社は種類の省エネルギー対策を提唱している。

当社は、今後とも、これらの提案&実用化を幅広く行いながら、TCOを追求していく。



プラントトータル操業・保守支援システム

従来の鉄鋼プラント用電機品の提供のみならず、プラント全体に、IT技術を核に、最少要員で競争力のある製品造りとTCOミニマム化の実現を支援する。

1. ま え が き

今世紀産業の飛躍的発展の基幹産業として成長してきた鉄鋼市場は、現在、中国・アジア・ブラジルなどを除き、世界的規模で製品供給過多の状態が継続している。その結果、これらの鉄鋼ユーザーは、設備投資の軸足を従来の生産力増強から製品品質向上による高価値化や省エネルギー・省力化による製品製造単価の低減に移行している。

これらの動向を踏まえ、三菱電機では、従来からのプラント用電機品の製造・開発に加えて、IT技術を核に、最少要員で競争力のある製品造りと総投資コスト(TCO)ミニマム化の実現を支援するため、各種の技術革新とソリューションを提案している。

本稿では、製品品質向上、高度省力化、オペレータ保守支援、地球環境対策をキーワードに、鉄鋼プラントに関するプラントトータル操業・保守支援システム(図1)について当社の戦略を述べる。

2. 製品品質向上

製品品質向上は従来からの課題であるが、製品供給過多に至った現在、製品の品質向上は、製品単価低減とともに

鉄鋼ユーザーが最も力を置くところである。各プラントの具体的な品質制御の事例については後続の特集論文で述べるが、その目指すところは、

- 超安定制御システム(後述)によるノータッチオペレーションの実現
- 製造プロセスにおける異常監視自動化及び自動復旧
- インテリジェントセンサによる制御プロセスの可視化

にある。現在でも通常操業においてはノータッチオペレーションはほぼ実現されているが、散発的に発生する操業異常時では、オペレータは自身の経験でその原因を推定しこれに対処する。その際の処置方法に個人差があり、製品品質や歩留りに影響を与えることになる。これを改善するためには、ノータッチオペレーションの範囲を更に拡大した超安定制御システムが必要である。すなわち、操業異常時にこれを自動的に検知し、かつオペレータの手を介さず自動的に正常復旧が可能となるシステムの実現が望まれる。

操業異常は現在でも様々な手法によって検知しているが、未だオペレータの判断に頼らざるを得ない部分も多い。しかし、これらを検知するには、現在のセンサでは限界があ

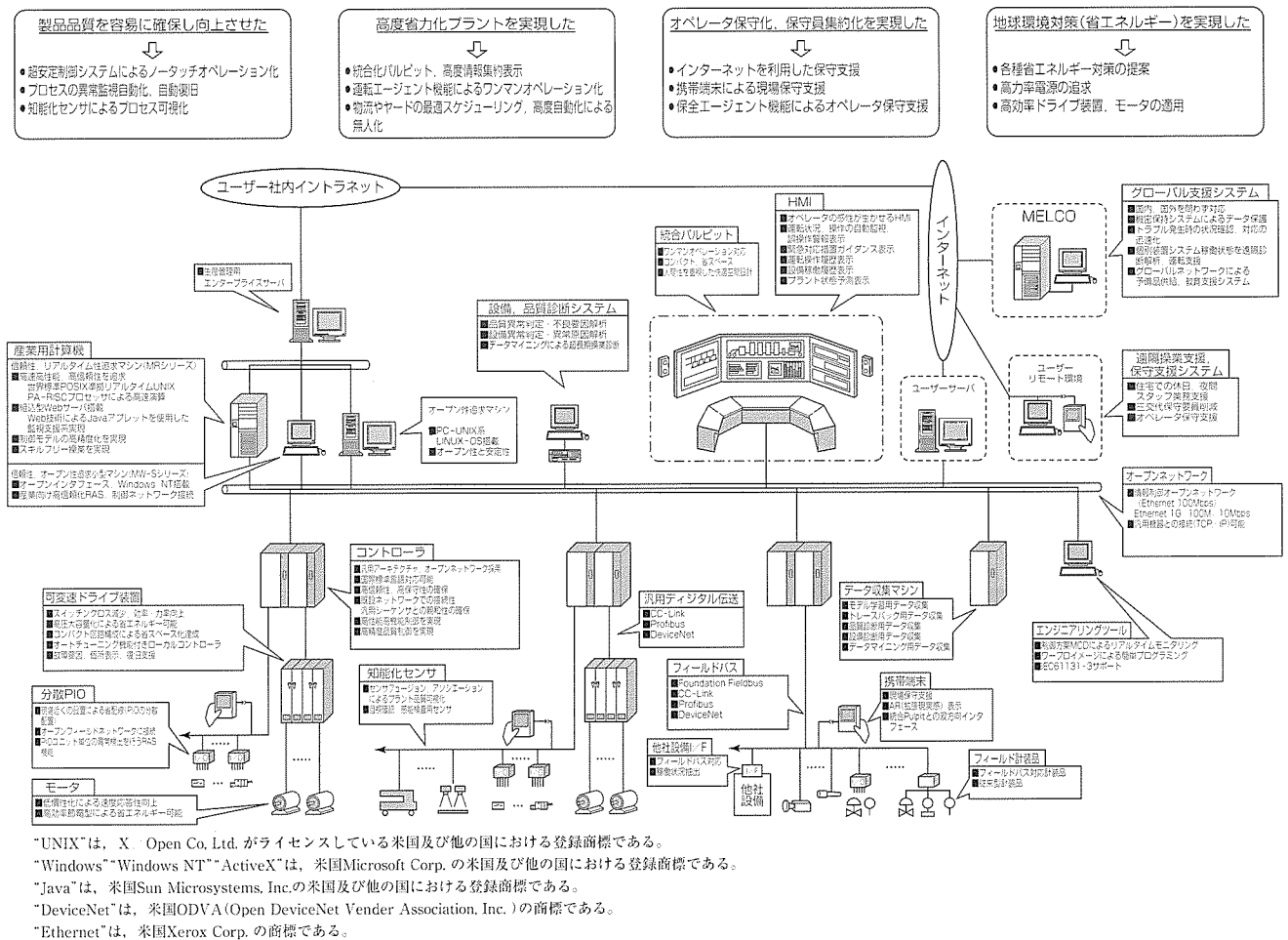


図1. プラントトータル操業・保守支援システム

る。今後は、インテリジェントセンサによるプロセスの可視化を実現するとともに、操業データを収集して製品品質の異常判定とその要因解析を自動的に行い、更にはデータマイニング技術によって正常操業への自動復旧実現が望まれる。

3. 高度省力化

既に通常操業におけるノータッチオペレーションを実現しパルピット(運転室)の統合化など操業要員を絞り込んでいる現在、ラインごとの省力化はある程度限界に近づいている。今後更に省力化を進めるため、これらラインごとのパルピットを更に複数まとめた統合パルピットを実現する方向に進む。これらを実現するためには、前述のインテリジェントセンサによるプロセスの可視化、ITV画像のデジタル化、イントラネット、メディアコントローラ、マルチ大画面システムなどインフラ整備と高度情報集約が必ず(須)条件となる。

また、運転エージェント機能によるラインの立ち上げ/立ち下げ時も含めたワンマンオペレーションや、物流やヤードの最適スケジューリングによるノーマンオペレーションもITソリューションの一つである。

4. オペレータ保守支援

現在、多くのプラントでは、いわゆるラインの操業を担当するオペレータと電機品設備を保守する保全員で構成されている。今後は、これらオペレータによる一次保守実現や、イントラネットや携帯端末による現場保守支援環境が望まれる。

当社では、これらの実現に向けて、

- インターネットとイントラネットによるリモート保守支援
- 携帯端末による現場保守支援
- 保守エージェント機能によるオペレータ保守支援を提供していく予定である。

リモート保守支援とは、保全員が現場まで足を運ばずにインターネットやイントラネットを介して現場の状況を把握することである。これにより、保全員の現場出勤回数が半減すると同時に、結果的に現場出勤の事態であっても有効な処置を判断した上で出向くことが可能になる。

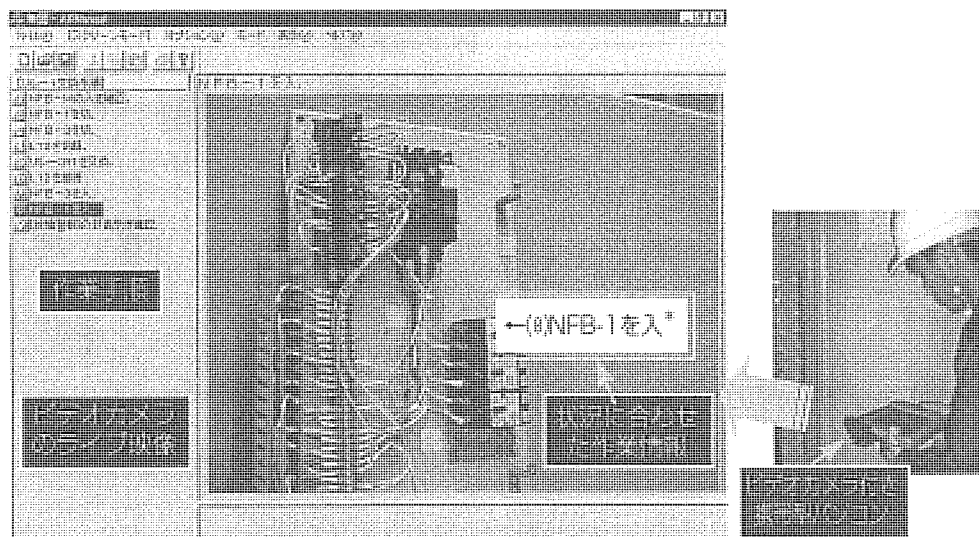
携帯端末による現場保守支援とは、上記のように現場に出向く際、小型ITV付き端末を携行して現場映像や操作手順をセンターの保全員と共用し、センターからの指示によって保守することが可能になる(図2)。

これらの作業をより迅速に行うためには、保全に必要な情報がタイムリーにアクセスできることが重要になる。これらを実現するためには、既存の電機品機器管理データベースやドキュメントデータベース、プラントのデータベースなど異種データベースを一元的にアクセスできることが重要である。当社では、これらを実現する異種分散データベース統合システム“Infoharness”でこれらの環境を提供できる(図3)。

5. 地球環境対策

地球温暖化対策の一環として、当社は、以下の省エネルギー対策を提唱している。

- 主機モータ冷却ファン風量制御
- 補機モータ押込みファン風量制御
- 電気室押込みファン風量制御



特長：映像をリアルタイム認識し、操作対象に作業情報を重畳表示(拡張現実感技術)
 軽量の処理により、携帯型パソコンで動作可能
 無線ネットワークを介して作業状況や進捗よく(捗)具合を中央に連絡
 * 左側の手順(1)~(6)の番号を表示し、作業指示しているところ

図2. 現場保守支援システム

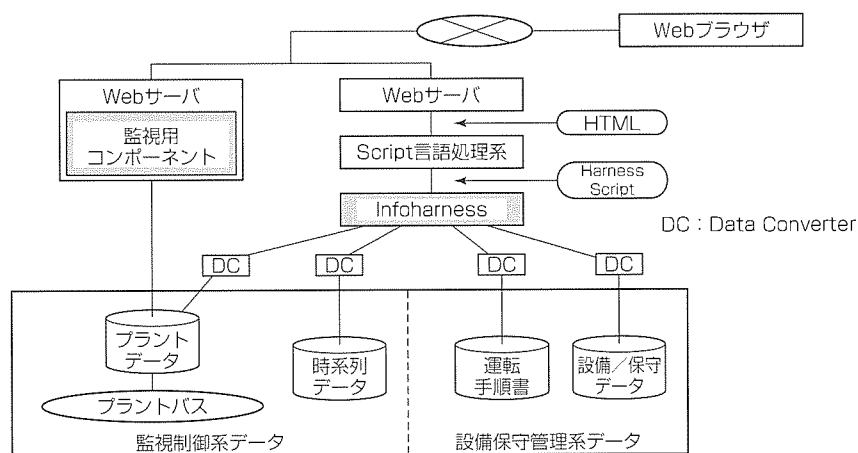
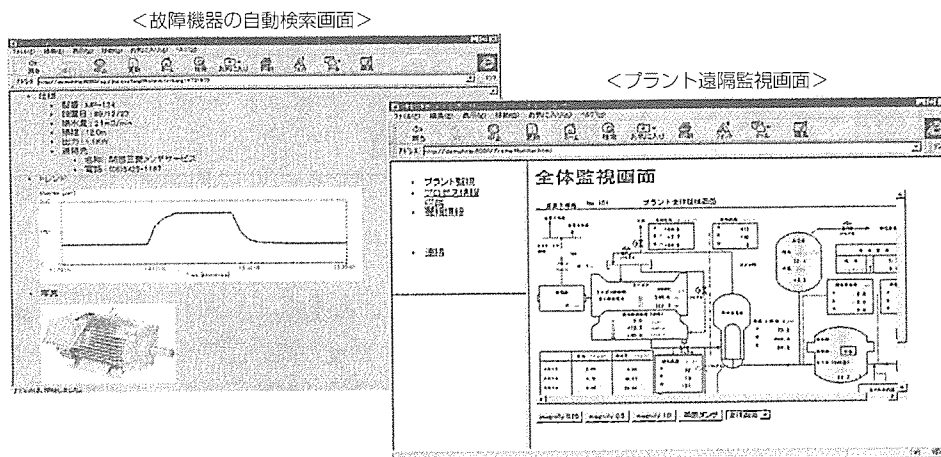


図3. 異種分散データベース統合システム

- モータ界磁節減制御
- ロール冷却水ポンプパターン制御
- デスケーリングポンプ圧力制御

また、1997年12月に開催された地球温暖化防止京都会議でCO₂削減の数値目標が示されたことなどを背景に、省エネルギー高圧インバータ“MELTRAC-F500H”を開発した。このインバータ装置は、入力24相コンバータ方式を採用し、高調波抑制ガイドラインをクリアするとともに、ダイオードコンバータ方式直接高圧インバータ方式によって高効率・高効率を実現している。さらに、5レベルPWM (Pulse-Width Modulation) 制御の採用によって負荷に優しいことも特長である。

6. むすび

上記の提案は既に製品として実用化しているものもあるが、これから実用化開発を行うもの、鉄鋼ユーザーの意見

を参考にブラッシュアップしていくものなどもある。これらの成功の鍵(鍵)は、実際に採用いただくユーザーニーズをどれだけ反映できるかにかかっている。当社は、今後これらの提案&実用化を幅広く行いながら、TCO最小化を追求していく所存である。

参考文献

- (1) 中川隆志, 佐野達郎, 仲谷善雄: 拡張現実感に基づく現場保守作業支援システムの試み, 電気学会原子力研究会, NE-98-14, 19~25 (1998)
- (2) 宗像浩一: 自己記述オブジェクトモデルを用いた情報源統合のための検索処理方式, 電子情報通信学会論文誌, J81-D-1, No.6, 839~850 (1998)
- (3) 前川隆昭, 野村立, 久山和宏: 産業用イントラネット応用システムとネットワークソリューション, 三菱電機技報, 74, No.2, 128~131 (2000)

製鉄・製鋼プラント用電機品

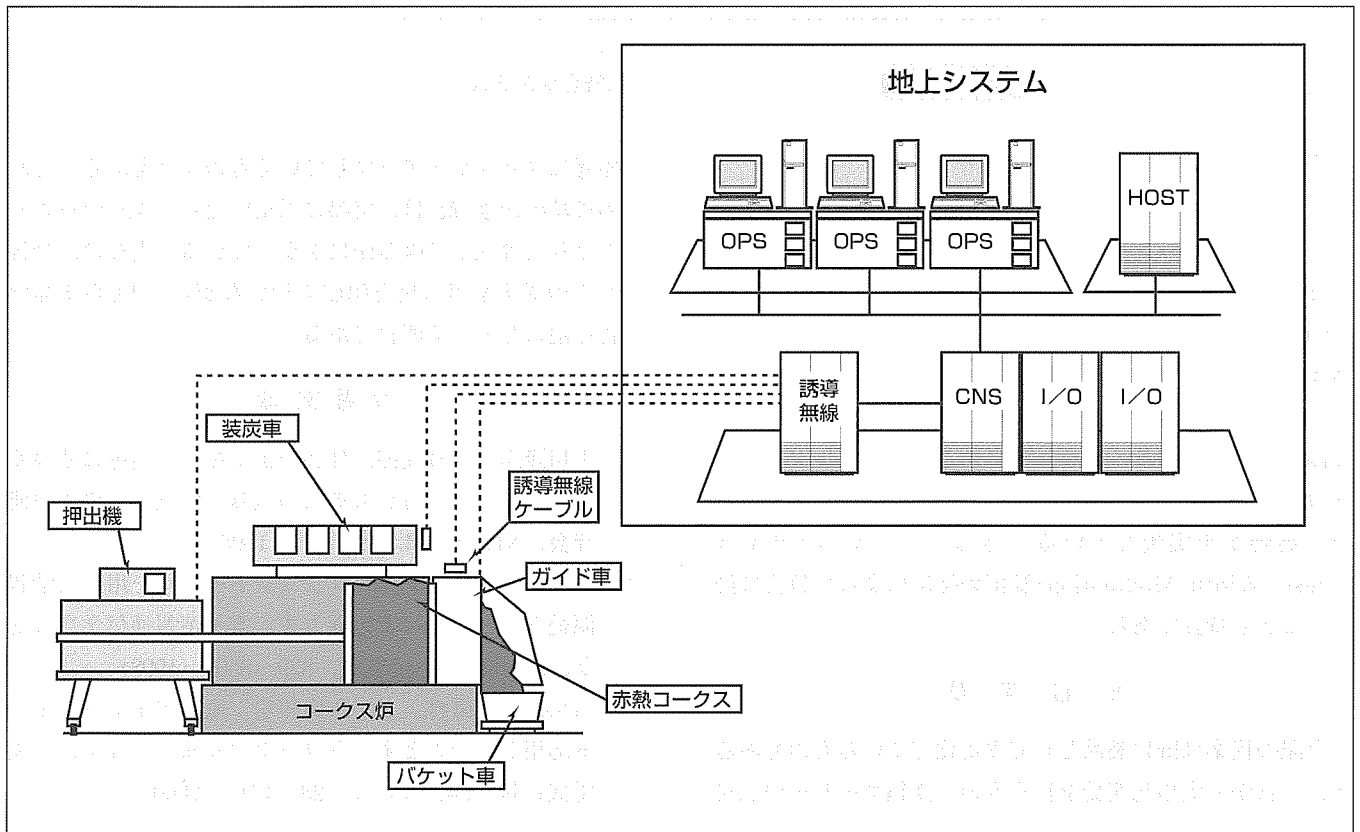
渡辺直和*
村中隆生*

要旨

製鉄・製鋼プラントの最新システム事例として、コークス炉回り移動機械の自動化システムについて紹介する。

コークス炉回り移動機械の自動化システムは、労働環境の改善と労働生産性の向上を目的として、コークスの生産に不可欠な移動機械(装炭車、コークス押出機、コークスガイド車、消火車/バケット車)を自動(無人)化するもので、近年、鉄鋼各社で活発に実用化されている。移動機械の自動(無人)化には厳しい停止精度と生産効率(サイクル

タイム)の改善、安全対策等が要求され、これを実現するには、精度の高い位置決め機能やサイクルタイム短縮を考慮した最適化対策、二重三重の衝突防止対策などが不可欠である。三菱電機では、位置検出方式に絶対位置検出式誘導無線装置を採用したシステムを構築して移動機械の自動化を実現し、消火車/バケット車、ガイド車、装炭車の無人化を達成している。また、押出機を含めたトータルシステムについても、現在、検討を進めている。



コークス炉回り移動機械自動化システム概要図

コークス炉回り移動機械自動化システムは、コークス炉への石炭装入及び乾留を終えた赤熱コークスの押し出し(窯出し)/搬送を行うために配置された4種類の移動機械(装炭車、押出機、ガイド車、消火車/バケット車)の走行及び作業を自動化するもので、各移動機械に搭載された車上システムと、すべての移動機械の総括管理/制御を行う地上システムで構成される。地上システムと各移動機械の車上システムとは誘導無線によって接続されると同時に、この誘導無線によって検出される位置情報を基に、自動走行及び各移動機械の位置情報管理を行う。

1. ま え が き

近年、労働生産性の向上と労働環境の快適さを目的としたコークス工場の自動化・省力化技術がクローズアップされ、目覚ましい発展を遂げている。

コークス工場は数十本の窯と称する炉の集合体(炉団)を母体とする設備であり、窯内では石炭を蒸し焼き(乾留)にしてコークスを生成している。コークス炉の回りには各々で作業役割を持った移動機械(装炭車、ガイド車、消火車/バケット車、押出機)が配置されており、コークス炉回り作業機械自動化システムは、これらの作業機械を無人又は自動で運転し、作業効率を改善させることに主眼を持ったシステムである。

本稿では、このコークス炉回り作業機械自動化システムにおける各種の課題に対する制御技術と、今後の展望について紹介する。

2. 設 備 概 要 ⁽¹⁾

2.1 移動機設備

図1に示すように、コークス設備にはコークス炉体と並行して4種類の移動機が配置されており、4台/1グループで連携をとりながらサイクリックに移動して作業を行っている。各々の移動機の役割は次のとおりである。

(1) 装炭車

石炭塔(コールビン)から石炭を抜き出し、各窯の炭化室に定量装入する。

(2) ガイド車

赤熱コークスを炉内から押し出しする際、押し出されるコークスをケージ(格子)によってバケット車に案内する。

(3) 消火車/バケット車

積載した赤熱コークスに散水消火してワーフに排出(消火車)するか、又は赤熱コークスをCDQ(Coke Dry Quenching: 乾式消火設備)に搬送(バケット車)する。

(4) 押出機

乾留が完了した赤熱コークスを炉内から押し出しする。

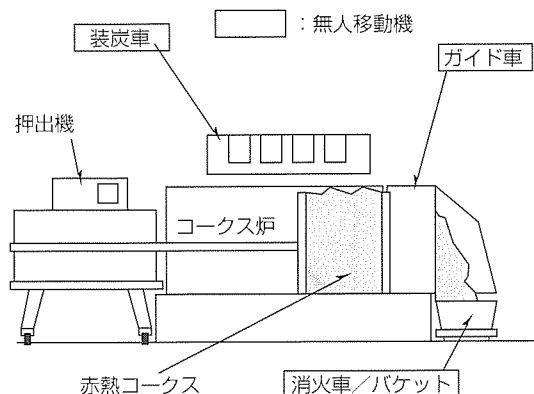


図1. コークス設備全体構成

2.2 設 備 仕 様

表1に各移動機械の主な仕様を示す。

3. コークス移動機無人化における課題

コークス炉回りに配置されている移動機の無人化は前述したようにコークス生産性の向上を主眼に行われ、実際に際しては次の三つの課題の解決が必要となる。

(1) 位置決め停止精度の確保

4種類の移動機械のうち装炭車、ガイド車、押出機については、その作業内容から厳しい停止精度が要求される(表1)。

(2) 操業サイクルタイムの短縮

操業サイクルタイム(1窯の窯出し/装入作業の平均所要時間)はコークスの生産量に直接影響するため、無人化システム導入の際にサイクルタイムの短縮化を図ることは操業での生産能力の向上を可能とする。

(3) 安全性の確保

システム計画に当たっては、二重三重の安全対策や多段インタロックシステムなどの安全設計を十分に検討する必要がある。

4. システム機能概要

4.1 システム構成

図2及び図3に、コークス炉回り移動機械自動化システムの事例におけるシステム構成図を示す。

図2は各移動機上に搭載された車上システムの構成図であり、機上の走行駆動装置、動力設備及び機械設備の自動運転は、地上局システムから指示されたバッチごとの作業指示情報を基に、車上局主幹プラントコントローラ及び作業用プラントコントローラに分担して自動運転・制御される。

表1. コークス炉回り移動機械の主な仕様

| 移動機 | 走行速度(m/s) | 質量(t) | 要求停止精度(mm) |
|--------------|-----------|-------|------------|
| 装炭車 | 1.67 | 220 | ±15 |
| ガイド車 | 1.0 | 200 | ±15 |
| 消火車 バケット車 | 3.34 | 60 | ±30 |
| 押出機 | 1.0 | 250 | ±10 |

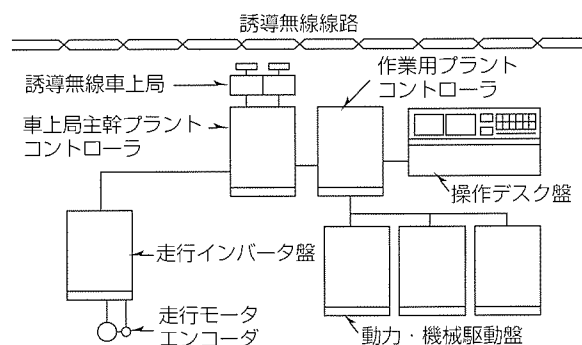


図2. 車上システム構成

る。

図3は、地上監視室に設置した全移動機の統括監視制御を行う地上局システムを含めた全体システム構成を示している。地上局ではオペレータが入力した作業スケジュールや移動機の稼働条件等によって各移動機への窯出し／装入作業指示を自動作成し、そのデータを誘導無線による伝送路を介して車上局システムへ送信している。

なお、移動機間の衝突防止監視や各種安全対策機能については、その機能ごとに地上／車上で機能分担している。

4.2 位置決め停止精度確保へのアプローチ

位置決め停止精度の確保に当たって、このシステムでは、高精度位置決めシステムを確立し、一回の制動で停止誤差範囲内に収めると同時に、インチング／リトライ処理で発生するロス時間の最小化を実現している。以下に、この内容について簡単に紹介する。

移動機の走行位置決め制御を精度良く行うためには、特に次の二つのポイントについて考察が必要である。

- 位置情報信頼性の確保
- 停止制動距離ばらつきの最小化

そこで、これらの要因について個別に検討を重ね、下記の対応を行った。

4.2.1 位置情報信頼性の確保

位置決め制御において、位置情報の信頼性が最も重要であることは言うまでもない。特にコークス移動機の無人化においては、目標窯に対しての位置決め精度±10mmという精度の確保と、コークス工場の劣悪な環境に耐える位置検出システムの採用が絶対条件である。

コークス移動機無人化における位置検出方式にはこれまで様々な方法が採用されてきたが、軌条上のコークスカミ込みによる位置のずれ(遊輪によるパルスカウント方式)や位置情報の分解能制約(絶対番地付き誘導無線方式)など

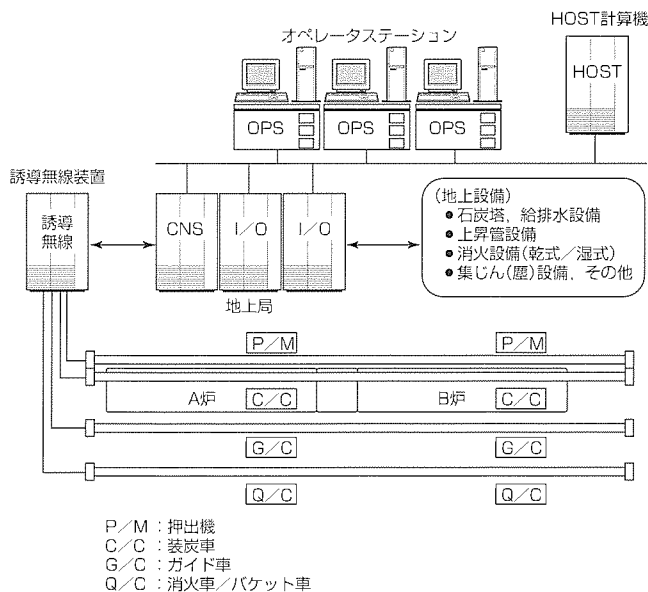


図3. 全体システム構成

の問題があったため、特に停止精度を要求される装炭車、ガイド車、押出機などには“絶対番地付き誘導無線装置”と“従動輪位置検出器”とを組み合わせた新しい位置検出方式を採用している。

絶対番地付き誘導無線装置とは、よ(撚)り合わせた複数対のケーブルを誘導無線線路として移動機の走行軌条に並行して敷設し、地上局-車上局間の信号伝送を行うと同時に、撚り合わせによって生じる信号位相変化をアンテナで検出／符号化して絶対番地として位置情報を認識するもので、10mm単位の位置の検出が可能である。

この位置検出システムでは、この絶対番地情報に従動輪に取り付けた位置検出器(アブソリュートエンコーダ)からの1mm単位の移動情報(車輪の回転角度から算出)を組み合わせて高精度の位置情報検出を可能としたもので、次のような特長がある。

- 1mm単位の位置検出により、高精度の位置決めが可能
- 非接触式のため、メンテナンス不要(誘導無線)
- 移動機本体の位置を絶対的に検知するため、車輪のスリップや瞬停などの影響を受けない(誘導無線)

なお、図4に、この位置検出システムにおける位置データ合成の考え方を示す。

4.2.2 停止制動距離ばらつきの最小化

停止制動距離のばらつきを生じさせるファクタとしては、

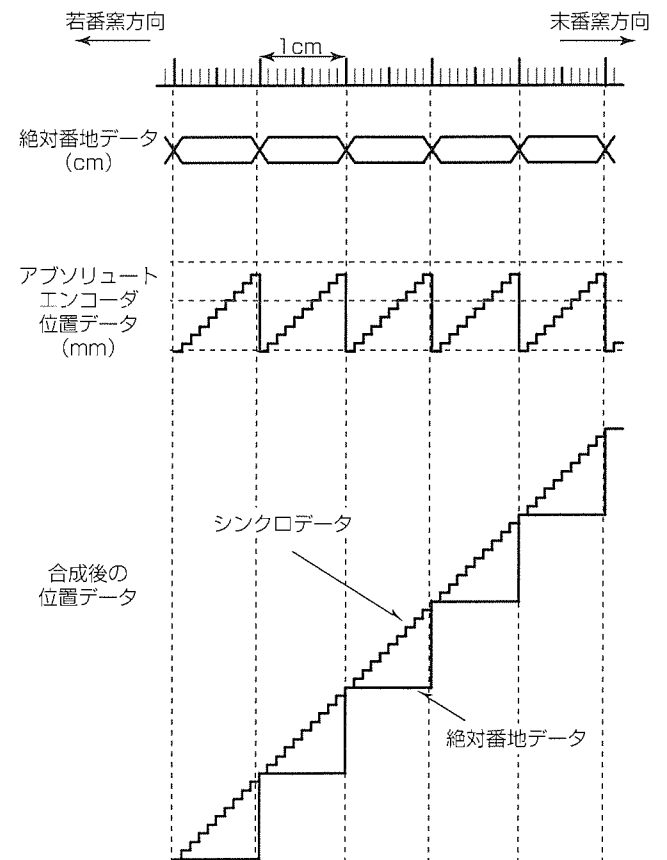


図4. 位置データ合成の考え方

主に次が挙げられる。

- 制動開始時の速度変動
- ブレーキトルクのばらつき
- レールの傾斜や変形
- 経年変化や天候変化(特に風の影響)による変動
- シーケンサプログラムの実行周期によるばらつき

なお、このほかにもブレーキ動作遅れ等の遅れ要因も考えられるが、一定性が保たれるため、チューニングによって回避することが可能な要因であるとしてここでは特に論じない。

以上のファクタから、特に影響が考えられる項目について、これらを最小とするために次のような対策を講じた。

(1) 制動開始時の速度変動

自動走行における最終位置決めは“クリープ走行”と呼ばれる停止前の一定速走行から最終制動を掛けることを行う。ここで、クリープ走行における速度に変動が生じると、制動開始初速度が変動して停止精度のばらつきが発生するため、変動を最小化する対策が必要となる。

今回のシステムでは、この速度変動が走行駆動系の制御精度に大きく左右されることから、交流可変速の中でも最も制御精度の高いベクトル制御インバータを採用し、また、シーケンサとインバータ間のインタフェース部の精度向上を図るために、光伝送システムによるデジタルインタフェースを適用した。

この対策により、クリープ走行における速度変動を±0.5%以内に抑えることが可能となった。

(2) ブレーキトルクのばらつき

ブレーキトルクのばらつきはブレーキの種類/構造によって様々であるが、いずれも機械的な要因によるものが主であり、これを直接的に解消することは困難である。そこで、ブレーキトルクのばらつきを最小化するのではなく、ブレーキトルクのばらつきによって発生する停止誤差を最小化する方法を検討した。

制動距離(L)は、制動開始初速度(V_c) / モータ回転数(N_c)、制動トルク(T_b)、モータ軸換算 GD^2 (GD^2)、定数(a)から次式によって求められる。

$$L = (V_c \times GD^2 \times N_c) / (2 \times a \times T_b)$$

上式より、制動トルクのばらつきを一定としたとき、制動距離のばらつきを小さくするには、制動開始初速度及び制動開始時モータ回転数を抑えればよいことが分かる。そこで、最終制動開始時の初速度をできる限り低くする方法、すなわち極微速クリープ走行方式を採用し、ブレーキトルクのばらつきに対応した。

(3) レールの傾斜や変形による影響

レールの傾斜や変形は上り勾配や下り勾配で制動トルクに影響するが、その変動は、停止位置すなわちレールの変形場所で固定されたものであり、頻繁に変化するようなも

のではないと言える。そこで、今回のシステムでは、各目的地への走行方向ごとに位置決め制動用の制御パラメータを個別に設けて、停止位置ごとのレール状態を織り込んだ位置決めを行った。この対策により、特定された位置のレール状態による制動トルクの変動を制御上でカバーすることができた。

(4) 経年変化や天候変化(特に風の影響)による変動

この要因は時々刻々と変化し予測困難なものであるため、停止結果を基にした学習機能を構築し、これを織り込むことによって対応した。

学習機能は、最終制動における停止後の位置合わせ結果(停止誤差)から制動制御パラメータを自動補正するものであり、次の2種類の補正機能で構成されている。

- 目的地ごとの補正 : レールの経年変化など特定位置における変動に対する補正機能
- 走行方向ごとの補正 : ブレーキパッドの摩耗や風の影響による変動に対する補正機能

これらの学習機能は、各停止位置ごとに蓄積した最新3回分の制動誤差データを基に、上記の二つの要因別に制動制御パラメータを自動補正する。

4.3 操業サイクルタイム短縮へのアプローチ

操業サイクルタイムを短縮するには、各移動機械の作業時間や動作時間、待ち時間を最小化する必要があり、下記のような対策を実施している。

4.3.1 自動走行時間の短縮

自動走行制御は車上システムで行っており、地上局から受信した作業指示を基に走行目的地を決定し、走行駆動装置への運転指令を制御している。

自動走行パターンは目的地までの距離によって変化するが、おおむね、図5に示すように、加速/定速走行/第一制動(減速)/クリープ走行/第二制動(減速)/極微速クリープ走行/最終制動の7段階の速度パターンで動作する。

自動走行パターンの決定に当たっては、サイクルタイムへの走行時間の影響を小さくするために、走行駆動ベクトルインバータとのデジタル伝送機能を有効に生かして、

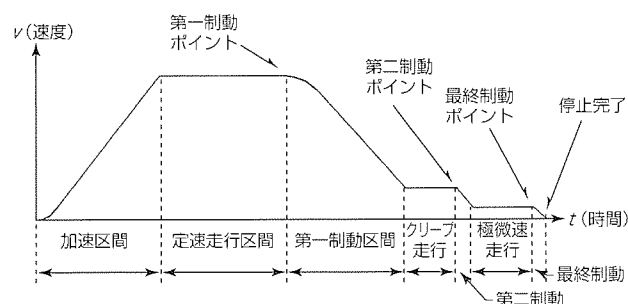


図5. 自動走行パターン

次のような処理を付加している。

(1) 定速走行速度自動演算機能

走行駆動ベクトルインバータとのデジタル伝送機能を採用することにより、定速走行における速度は、連続的に任意の速度を設定可能となる。そこで、走行開始前に現在位置と目的位置との距離から算出した走行距離を基に定速走行速度を自動計算し、最適走行パターンを作成する機能を付加した。

この機能により、中距離区間における走行時間を最短化することが可能となった。

(2) 加速度／減速度の多段階制御

走行時間を短縮するもう一つの方法として、加減速時間を短縮する方法がある。しかしながらこの方法では、レールと車輪の粘着けん(牽)引力を超えた加減速を行うと、車輪のスリップなどの問題が発生する。この車輪のスリップは、停止～加速、定速～減速／加速における速度変更によって車輪に大きな力行・制動トルクが急激に生じた場合に発生しやすい。そこで、加減速の初動時には低加減速で徐々に加減速度を上げていく“加減速度の多段階制御”を取り入れた。走行制御におけるベクトルインバータの駆動は、シーケンサからインバータへ送信する速度基準データ(速度指令)を制御することによって行われる。

具体的には、

- 加速時：加速開始時から一定時間ごとに速度基準データの加算定数を大きくして加速する
- 減速時：減速開始時から一定時間ごとに速度基準データの減算定数を大きくして減速する

この処理の追加により、滑らかな加減速パターンが得られ、車輪のスリップを回避した高加速／高減速を実現した。

4.3.2 最適インタロックシステムの確立

コークス炉の操業は、炉回り各移動機の連携動作によって成り立っている。すなわち、この連携動作の効率化が操業サイクルタイムの短縮に功を奏すると言える。

そこで今回のシステムでは、各移動機の一連の動作と作業機間及び付帯設備との連携ポイントを詳細に分析し、各移動機の最適なインタロックシステムを構築し、運転動作ロスの縮小化を実現した。

4.3.3 トラブル発生時の復旧時間短縮

トラブル発生時の復旧は“原因特定”と“復旧作業”に大別され、それぞれに対する支援機能として下記の機能を付加し、復旧時間の短縮化を図っている。

(1) 故障内容表示の詳細化

地上監視システムでの故障管理レベルを詳細レベルまで表示可能とし、地上オペレータで異常個所の特定を可能とした。

(2) インタロック信号状態表示機能

各機器個別の動作条件(起動インタロックと運転インタ

ロック)をリスト形式で詳細に表示し、欠落している条件の特定を容易にした。

(3) 故障トレース機能

トリガー信号をキーとした任意の状態信号の変化をトレースさせることにより、故障時の動作状態を確認／検証できるようにした。

(4) 運転／動作時間監視モニタ機能

各種構成機器の運転時間や動作時間の監視、傾向確認、累積等が可能な機能を付加した。

4.4 無人自動化率向上

無人自動化率の向上をねらった主な付加機能の一例を以下に列記する。

(1) 自動リトライ機能

各種機器の動作不良による異常発生時に自動的に動作を繰り返すもので、オペレータ介入なしにリトライを可能とした。

(2) 学習機能

4.2.2項の(4)にも述べたように、位置決め学習機能によって自動補正を行うことで、再チューニング頻度を軽減した。

(3) バイパス機能

機械損傷等によって使用不能となった付帯装置に対して、任意にバイパスモードを設けて主要機器の操業続行を可能とした。

4.5 安全対策へのアプローチ

今回のシステムでは、安全対策についても下記のような対策を施している。

(1) 各移動機の走行エリア監視

各移動機における走行時の現在地及び目的地から走行範囲を検出し、移動機間の相互干渉を監視することによって衝突を防止する。

(2) 移動機間の相対距離監視

各移動機の現在地から車間距離を算出し、既定値まで近づくと強制的に停止させることによって衝突を回避する。

(3) 回転マイクロ波式衝突防止センサの採用

隣接した移動機同士で対向してセンサを設置し、一定距離内まで近接するとセンサが警報を出力して非常停止を行う。センサの選定に当たっては、設置環境や誤動作防止を考慮して、回転マイクロ波方式を採用している。

(4) 走行バリヤ設定機能

オペレータの任意設定によって走行バリヤ(進入禁止エリア)を設定し、このエリア内には移動機を進入させない機能を持たせた。

(5) 極限リミット監視

各移動機における限界走行領域の両端に極限検出リミットスイッチを設けて、走行領域外への逸走を防止する。

(6) 走行速度規制エリア制御

走行エリア全域を区分して各々の区間に設定速度(規制速度)を取り決め、走行速度の規制と速度オーバーチェックを行う。

5. 押出機の自動化

現在、押出機の自動化に関しては、自動走行における位置合わせ制御精度の技術的な課題はほとんど解決されており、押出機走行自動化は実現可能であると評価しているが、押出機オペレータの役割の特異性、特に、①押出しラムと炉壁の干渉(衝突)監視及び回避、②炉壁の状態監視、③カーボン付着状況の確認、④ガス漏れ等の周辺状況把握、⑤装入/窯出しのキーステーションとしての役割など、人間の五感に依存する部分が多いことから、現時点では無人化指向と並行して、押出機運転室のセンター化(地上局監視室機能の押出機車上への移転)も視野に入れた検討を進めている。

押出機運転室のセンター化に際しては、地上監視室の機能を押出機へ移転するため、情報伝達の高速・大容量化と

同時に、押出機オペレータの作業負荷軽減を考慮した自動化機能の確立、各種センサによる監視システムや操業支援システムの開発についても開発・検討を進めている。

6. むすび

コークス炉回り移動機械の自動化システムは、様々な研究や実証を基に最終段階へと推移してきており、前にも述べた押出機完全無人化(又は完全センター化)の実現も目前となってきた。一方、国内の稼働中コークス炉では、建設後20年近くが経過し、経年的な老朽化対策としての炉体の延命や補修技術開発等の新たな課題もあり、炉体管理に有効なセンシング技術とこれらの情報を基にした支援システムが要求されている。今後、これらの課題にも積極的に取り組む所存である。

参考文献

- (1) コークス設備 ガイドブック 改定第3版, 学校法人鉄鋼学園 産業技術大学 人材開発センター (1988)

熱間圧延プラント用電機品

岡本 健*
下田道雄*
中川佳昭*

要 旨

熱間圧延プラント用電機品では、駆動システム・制御システムの高性能化を利用したより高度な品質制御を適用し、製品の高品質化・自動化／安定化・省力化を目指している。

(1) 駆動システム

主機駆動システムでは、高性能なAC化駆動装置であるGTO(Gate Turn-off Thyristor)／GCT(Gate Commutated Turn-off Thyristor)インバータの適用が拡大し、小型化と高効率化を目指しての改良が進んだ。これらは容量によって1並列又は2並列で使用されている。

(2) 制御システム

これまで蓄積された制御技術をベースに汎用化を図り、オープンな情報制御ネットワークを基に、PCアーキテクチャを採用したPLCであるMELPLAC2000、汎用GUIであるiFIX^(注)を採用したオープンHMI(Human Machine Interface)、汎用のコンピュータシステムをベースにした

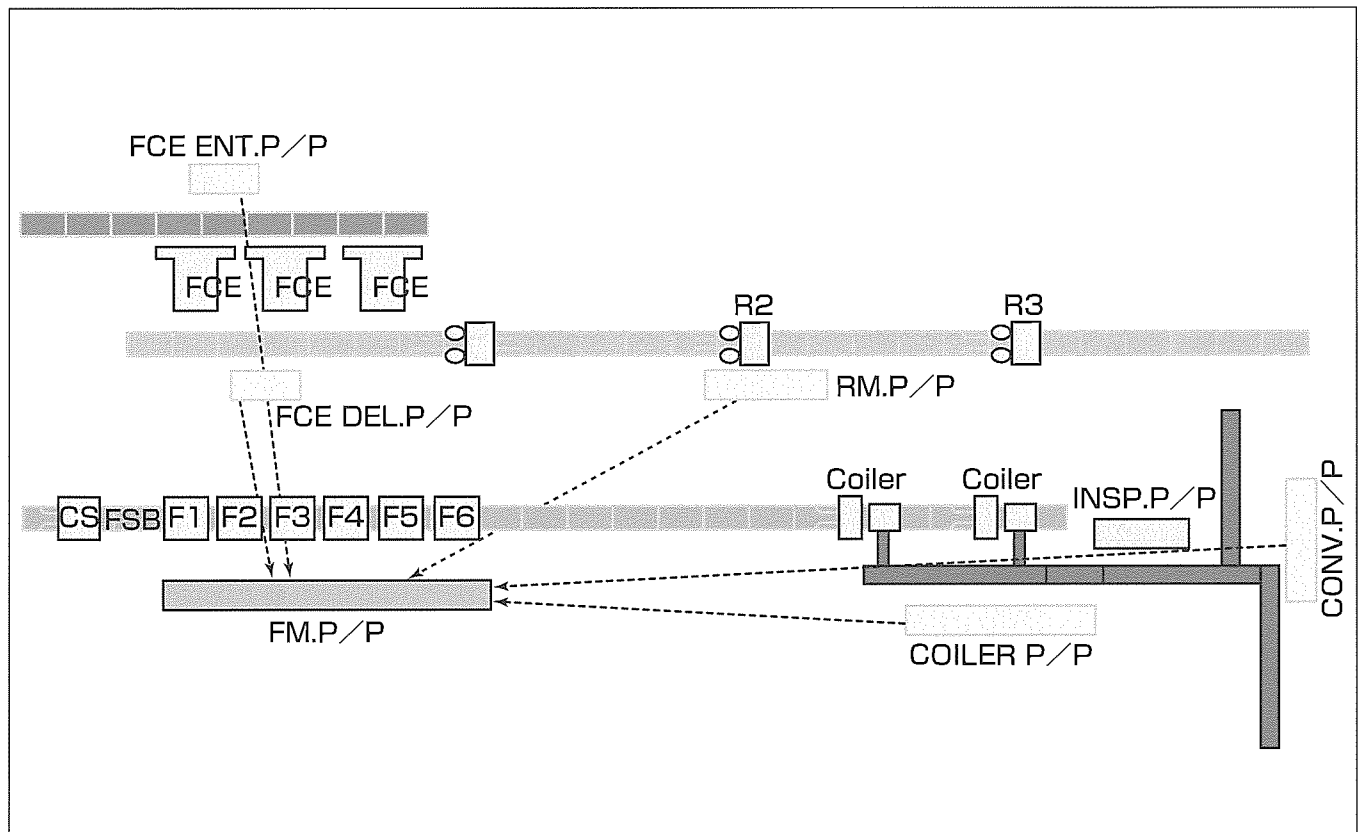
制御システムを採用した。

エンジニアリングも統合化ツールであるMELSUCSESのほかに国際標準言語IEC61131-3に対応し、汎用性を広げている。

(3) 品質制御

近年の製品高品質化・操業自動化・安定効率化の要求に対応し、AGC(Automatic Gauge Control)、AWC(Automatic Width Control)、各種数式制御モデル等が適用されているが、さらにループASR多変数ループの発展形、AGC、先端張力制御、蛇行制御などの新技術の開発と適用を図っている。また、これらの品質制御の支援ツールとして、シミュレータや解析／診断支援システムを実用化し、実際の現地調整時に利用することによって効率化に寄与している。

(注) “iFIX”は、米国Intellution社の登録商標である。



熱間圧延プラントにおける運転室の統合

最近の熱間圧延プラントでは、駆動装置(GTO／GCTインバータ)採用による高性能化と制御システム及び制御技術の高性能化により、製品の高品質化及び操業の自動化・安定化が達成され、ノータッチでの圧延が可能となり、省人化・パルピット統合化が進められている。

1. ま え が き

熱間圧延プラント設備は、製鉄所における生産設備の中核で最重要設備の一つであり、高度な設備と制御システムで構成された大規模システムの典型的な代表例といえる。

三菱電機では熱間圧延設備の新設及び既設設備の新鋭化に数多く取り組んでおり、いずれも順調に立ち上げ、関係者の多大な評価を得ている。

本稿では、最近の熱間圧延プラント用電機品の特長と品質制御の向上について、これまで培われた鉄鋼プラント制御技術の概要を紹介する。

2. 駆動システム

主機駆動装置では、GTOインバータの適用が定着した。GTOインバータは改良が進み、1998年からは第二世代のGTOインバータMELVEC3000N、'99年からは第三世代のGTOインバータMELVEC3000Aの出荷を開始した。中・小型補機駆動用のIGBTインバータも改良が進み、コンパクト化と高性能化が進んだ。また現在では、GTOインバータを高信頼化・高効率化したGCTインバータも適用可能である。

'98年に納入した熱間圧延設備では、圧延機駆動及び大容量補機駆動にはGTOインバータMELVEC3000Nを、中・小型補機駆動にはIGBTインバータMELVEC1200N/2000Nを適用し、全交流化ドライブシステムを実現した。

表1に主機及び大容量補機ドライブ装置の諸元を示す。

3000N単機の連続容量10MVA、過負荷耐量15MVA(1分)を超える電動機に対しては、図1に示すように、2台のインバータをリアクトル結合して給電する方式を採用している。

3. 制御システム

3.1 全体システム構成

最新の熱間圧延プラントの制御システム構成例を図2に示す。

これまで培われた鉄鋼プラント制御技術をベースに、近

表1. 熱間圧延設備へのMELVEC3000Nの適用

| 対象 | 電動機仕様 | 適用GTO |
|--------------|--------------------------|----------|
| Sizing Press | 1-3.400kW, 500 r/min | 1-GTO |
| R 2 Mill | 2-7.000kW, 45/85 r/min | 2-2 xGTO |
| F 1~F 3 Mill | 3-8.000kW, 100/200 r/min | 3-2 xGTO |
| F 4 Mill | 1-7.500kW, 157/314 r/min | 1-GTO |
| F 5 Mill | 1-7.500kW, 203/406 r/min | 1-GTO |
| F 6 Mill | 1-7.500kW, 240/480 r/min | 1-GTO |
| F 7 Mill | 1-6.000kW, 257/550 r/min | 1-GTO |
| E 2 Edger | 2-1.450kW, 295/590 r/min | 2-GTO |
| Crop Shear | 1-2.000kW, 680 r/min | 1-GTO |

注 2 xGTOは、2台のインバータの入力電源側、出力側それぞれをリアクトルで結合し、1台の電動機への給電を意味している。

年の技術進展によって汎用技術をベースにしたシステム構築が可能となってきたこと、またマルチベンダー化やシステムの保守・拡張容易性等のユーザーメリットを重視し、積極的に国際標準・業界標準技術製品を適用したシステム構築が可能となった。特に、大規模な熱間圧延プラントでの生産/制御/品質/エンジニアリングなど多岐にわたる情報を最新のIT(Information Technology)技術によって加工・編集・監視が可能となり、より高度な操業支援を実現できる。

制御システムの特長を以下に紹介する。

3.2 オープン情報/制御ネットワーク

100Mbps Ethernet^(注1)によるオープンネットワークであり、マルチベンダーシステムを容易に構築可能である。

通信プロトコルにはTCP/IP(Transmission Control

(注1) "Ethernet"は、米国Xerox Corp.の商標である。

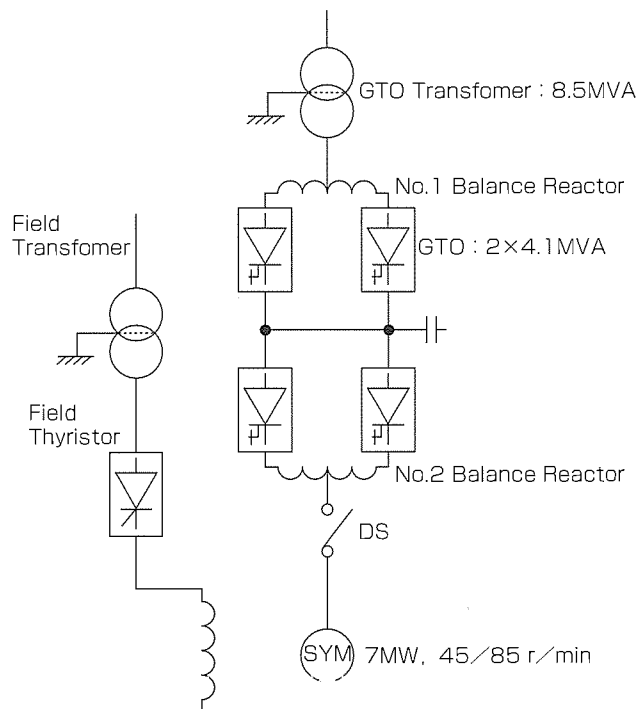


図1. インバータのリアクトル結合

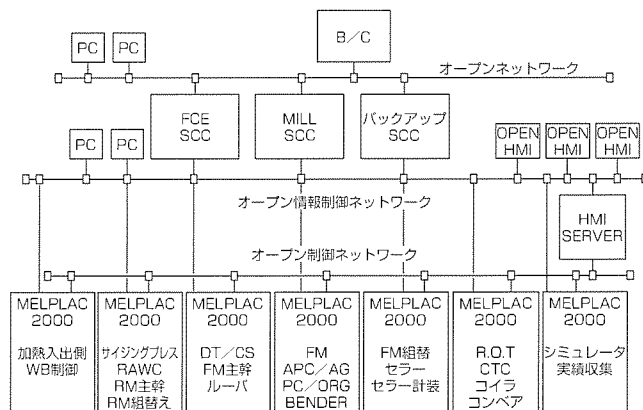


図2. 熱間圧延プラントの制御システム構成例

Protocol/Internet Protocol)を採用し、汎用機器との接続性の向上を図っている。さらに、SNMP(Simple Network Management Protocol)の採用によってスイッチングHubを含めたネットワーク全体の監視/管理を可能としている。熱間圧延プラントにおいては、大規模なマルチベンダーシステムを最新のIT技術で統合化構築することを可能としている。

3.3 新世代MELPLAC2000

PCアーキテクチャ、コンパクト-PCI(Peripheral Component Interconnect)など国際標準とデファクトスタンダードを全面的に採用した。

高性能プロセッサ+専用プロセッサによる高速演算(ビット演算0.09 μ s)実行及び電気制御96K step(POL言語)、計装制御320ループを実行可能としている。

また、マルチCPU(最大4CPU)構成によって高速で最適な負荷分散とCPU能力増強を可能としており、汎用シーケンサを有機的に融合した熱間圧延プラント制御システムを柔軟かつ最適に構築可能である。

3.4 HMI(OPS-2000)

EICすべての画面を統合可能なサーバ/クライアント方式のHMIであり、ACTIVE-X及びOPC(OLE(Object Linking and Embedding)for Process Control)I/F対応のオープンシステムである。マルチメディアシステムとの融合が容易で、当社システムに限らずあらゆる計算機の情報を容易にシングルウィンドウ化する。

熱間圧延プラントにおいて運転室統合化を促進する技術の一つである。

3.5 統合分散エンジニアリング環境

オブジェクト指向データベースを用いたデータ交換等の技術を採用した統合分散エンジニアリングツールであり、ドライブ/PIO/コントローラ/HMI/MELSECなどすべてのデータベースを一元管理したエンジニアリング環境を実現している。また、国際標準言語IEC61131-3対応言語をサポートし、階層化ファンクションブロックを用いてアプリケーションの標準化が容易なシステムとなっている。大規模かつ多様な熱間圧延プラントのエンジニアリングを、サーバ/クライアント構成のWindows^(注2)環境で支援する。

3.6 プロセスIOシステム

既存プロセスIOとの接続を可能とし、既存システムとの連続性/継承性を確保すると同時に、オープンなフィールドネットワークとの接続性を確保する。

(1) プロセスIOシステム

当社がオープン化を進めているフィールドネットワークであるCC-Linkを活用し、プロセスIO、現場置きオペレータユニット等の機能IOの現場分散化(分散PIOシステム)を可能としている。

(注2) "Windows"は、米国Microsoft Corp.の商標である。

(2) ドライブインタフェース

国際PROFIBUS協会がオープン化を進めているProfibusを活用し、主にドライブ装置とのオープン接続を可能としている。

4. 品質制御

4.1 熱延品質制御

当社は、加熱炉、粗圧延、仕上圧延、巻取りの熱延ラインの全プロセスに対して、セットアップモデル、ダイナミック制御など、独自の品質制御をフルラインアップで保有する数少ない電機メーカーの一つである。

近年、製品の高品質化、操業の自動化・安定効率化のニーズがますます高まる中、更に高度化・複雑化した課題に取り組み、成果を収めている。

- (1) より高いレベルの製品品質の達成(例:製品板厚精度の目標は $\pm 50\mu\text{m}$ から $\pm 30\mu\text{m}$ 管理へ)
- (2) オペレータの介入・補助に依存することなく、操業安定化と品質造り込みを両立し、完全自動化・省人化によって生産のコストミニマムを追求

4.2 品質向上と省人化の実現例⁽¹⁾

最も操業人員を要する仕上圧延において、圧延のノータッチ化(介入レス)とワンマン化を実現し、通板安定化と板厚・板幅精度向上の両立を達成した事例を紹介する。

これらは、品質制御の新鋭化、及びミルモータ、駆動装置、プログラブルコントローラ、プロセス計算機、HMIなど制御系全体の更新によって達成された。

4.2.1 仕上圧延の課題

仕上圧延は、板厚、板幅、形状といった製品品質を決定する最も重要なプロセスである。一方、薄板を高速で圧延するため通板が不安定になりやすい。

これに対し品質制御は、圧延材先端でセットアップモデルによってマスフローバランスと板厚の設定制御を行い、圧延中はAGCによる板厚制御、ループ制御によるマスフローバランスとスタンド間張力の制御を行う(図3)。

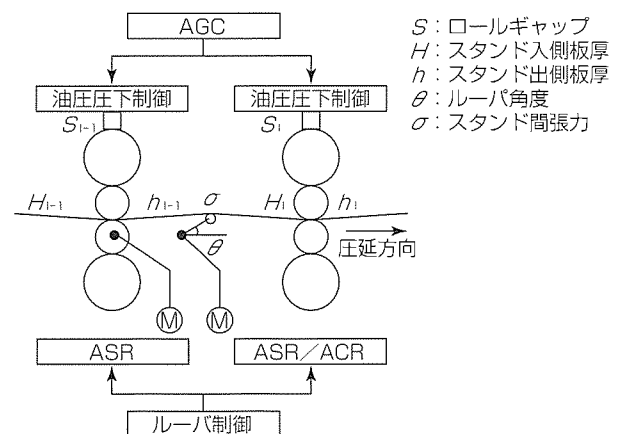


図3. 仕上圧延の制御概要

従来、これら品質制御に加えて複数のオペレータが製品品質及び圧延のマスフローバランス等の通板性を監視し、品質不良発生時や通板不安定時には制御に介入することによって品質造り込みと操業安定化を行っている。

製品品質向上・省人力化の課題を以下に示す。

- (1) 板厚精度を向上するためAGCによってロールギャップを高速に大きく制御すると、通板が不安定(マスフローバランス崩れとスタンド間張力変動)になる。これによってAGCの制御ゲインを大きくとることができず、板厚精度に限界が生じる。板厚精度確保のためにはオペレータ介入が必要となる場合もあった。
- (2) AGCのロールギャップ制御の応答や圧延外乱に対し、ルーパ制御の応答は不十分であり、マスフローバランスを保つためオペレータによる速度介入やロールギャップ介入が必要であった。
- (3) 先端通板時、セットアップ不良等によって過大ループが発生してルーパ制御で抑制できない場合、ミスロール(圧延不能)となるため、オペレータは過張力気味に速度介入を行う。これにより、圧延材の先端において、幅不足や板厚不良といった品質不良が発生することが多かった。

4.2.2 適用技術

- (1) 速度制御系では、主機モータAC化、ドライブ装置のGTO/GCTインバータ化によってミル速度応答を向上し、併せてルーパの低慣性化、ルーパ制御のASRと多変数制御化によってルーパ制御の応答性と制御能力を改善した。これにより、先端通板時における過張力と過大ループを高速に改善し、全長にわたるマスフローバランス制御、張力制御の高速化・安定化を図った。
- (2) AGCでは、全長絶対値AGC、ダイナミックセットアップ、FF-AGC(Feed Forward AGC)等の新機能を導入し、制御精度向上を図った。
- (3) セットアップモデルでは、マスアンバランス量を先行材と次材で学習する速度バランス学習を開発し、先端通板時の設定速度バランスの向上を図った。また、中間スタンド板厚計を利用した学習制御によってロールギャップの設定精度を向上し、先端板厚精度の向上を図った。

4.2.3 効果

- (1) 圧延のノータッチ化

図4、図5に、既設及び更新後のルーパ角度チャートを

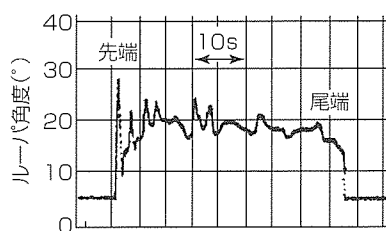


図4. ルーパ角度(既設時)

示す。全長にわたってマスフローバランスが向上し安定(ルーパ角度が安定)した結果、速度介入率は著しく低減され、更新前の4.6%に低減した。また、板厚制御系の改善によってロールギャップの介入は0%となっている。

この結果、仕上圧延のワンマン化を達成している。

- (2) 板厚・板幅品質の向上

通板安定性の向上によってAGCゲインが向上し、新機能とセットアップ改善の効果と併せて、高レベルの板厚精度を達成している。

更新後、板厚精度(全長 $\pm 30\mu\text{m}$ 以内)は2.7%向上した。

図6に更新後の板厚チャートを示す。

先端の板幅の幅不足の発生が解消され、製品品質は大きく向上している。

- (3) 操業の省人力化

仕上圧延においてワンマン操業を達成したことにより、仕上統合運転室において、粗圧延、仕上圧延、巻取りの統合運転を実現し、省人力操業を達成している。

4.3 新技術

従来からセンサで定量化され管理されている板厚・板幅・温度・形状といった品質精度をより高いレベルに向上することはもとより、定量化が難しく複合的な制御を必要とする絞り・蛇行・通板性等の圧延不安定現象といった対象を中心に、新技術・新制御の開発・適用を展開している。

- (1) 新ルーパ制御

近年、標準機能として納入しているASR多変数ルーパ制御は、仕上圧延の通板安定性を飛躍的に向上し、板厚精度向上と省人力操業に寄与している。

新ルーパ制御は、この発展型として、ロバスト性、ミル間張力制御性能・制御パラメータ設計の簡潔さの面で更に

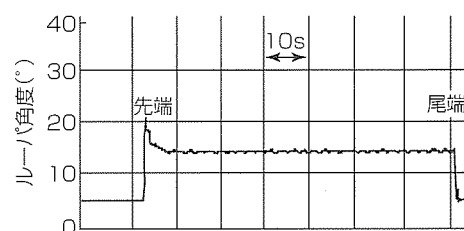


図5. ルーパ角度(更新後)

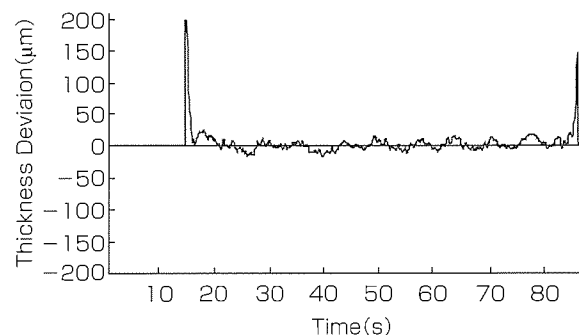


図6. 板厚チャート

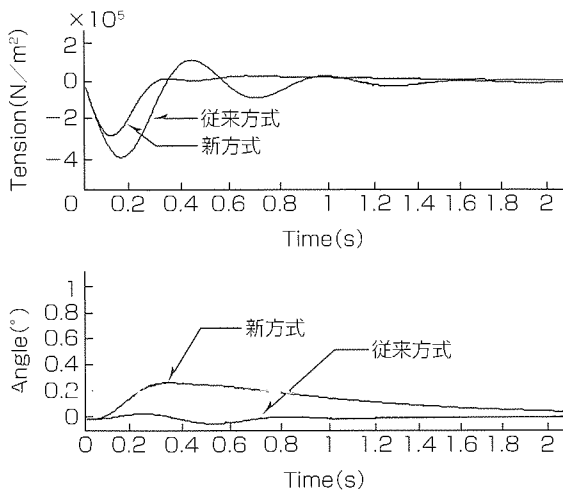


図7. 新ルーパ制御

性能向上が図られている(図7)。

(2) 先端張力制御

仕上圧延において、圧延材先端が圧延機にか(噛)み込んだ瞬間からルーパ制御が動作するまでの間、従来はダイナミック制御が行われていなかった圧延材最先端部のマスフローバランスとミル間張力の制御を行う。

これにより、先端通板安定性と先端寸法精度向上を図ることができる。

(3) 蛇行制御⁽²⁾

仕上圧延において、圧延材尾端が圧延機を抜けるときに発生する蛇行を防止し、蛇行によって生じる尾端絞りの頻度を低減する。これにより、計画外の圧延ロール交換とラインストップを低減し、生産効率を向上する。

また、品質制御の設計・開発と現地調整に対して、操業支援及びエンジニアリング支援を目的とするオフラインシステムも開発し、より高度な制御機能の構築と短期の機能立ち上げが可能となっている。

(4) 熱延シミュレータ⁽³⁾ (図8)

直感的に理解しやすい構造と高い操作性と可視化性を持ち、制御アルゴリズム(特にダイナミック制御)の事前検証、調整、現象解析に適用されており、開発・検証時間の短縮に寄与している。

(5) 解析・診断支援システム⁽⁴⁾⁽⁵⁾

圧延材の製品情報、設定データ、全長品質データ、全長制御データ等を収集するデータ収集装置、これらのデータを蓄積・管理して現象分類・可視化を行うデータベース機能、圧延現象を解析する回帰・シミュレーション機能からなる。実機調整において、エンジニアリング支援・調整ツールとして使用されている。また、診断機能を付加することにより、圧延現象の解析・診断といった操業支援システムや診断システムとして使用されている。

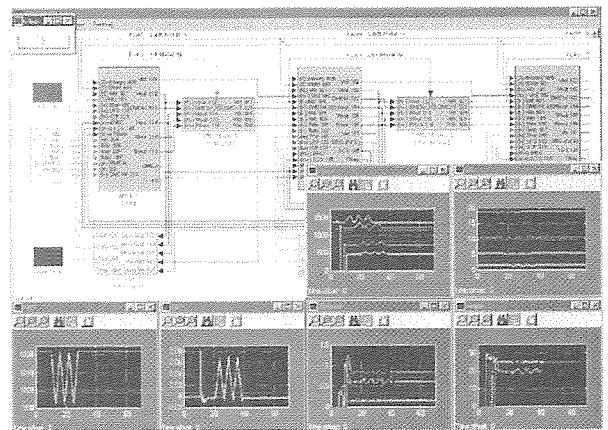


図8. 熱延シミュレータ画面

5. むすび

最近の熱間圧延プラントの動向について、その特長を中心に紹介した。熱間圧延プラントでは、製品の高品質化、自動化、運転の集中化の実現のために、設備・制御・操業の三者のより高度な融合により、更に進歩していくものと考えられる。

またプロセス技術の進歩によって連続鋳造と熱間圧延が連続化された新しいプロセスも導入され、今後の発展に期待される場所である。当社も、この分野における経験・実績と技術力を基盤とし、オープン化が進む世界の動向に注目しつつ、新技術と新システムの開発に努力し、ユーザーと協力して最新鋭の熱間圧延システムの実現に貢献する所存である。

参考文献

- (1) 若宮宣範, 久保直博, 盧 垠杞, 張 永相, 李 龍錫, 權 景歎: 熱延ライン制御系更新のアプローチと実施例, 電気学会金属産業研究会資料, MID-99-18, 27~32 (1999)
- (2) 丸下貴弘, 池田英俊, 築山 誠: 熱間圧延における蛇行制御方式の開発, 電気学会産業応用部門全国大会, 3, 391~394 (1998)
- (3) 伊藤敏也, 矢野健太郎, 丸下貴弘, 築山 誠: 熱延シミュレータの開発, 電気学会産業応用部門全国大会, 3, 611~612 (1999)
- (4) 下田直樹, 若宮宣範, 鶴田 誠, 久保直博, 鳴田淳: 鉄鋼プラント用制御モデル支援解析システム, 三菱電機技報, 70, No.10, 1011~1015 (1996)
- (5) Nitta, I., Wakamiya, Y.: The Diagnostic System for Automatic Gauge Control in Hot Strip Mill, IFAC MMM '98 (1998)

冷延・プロセスプラント用電機品

要旨

冷延・プロセスプラント用電機品の最新システムの事例として、プラントに適用される駆動システム、制御システム、制御技術の特長について紹介する。

(1) 駆動システム

冷間圧延主機駆動モータに適用される大容量モータ駆動システムには高精度、高応答、しかも電源に対してクリーン(電源力率1.0, 低高調波)であるGTO(Gate Turn-off Thyristor)を適用し、ほとんどすべての冷間圧延機主駆動モータ容量の範囲(6,000kW程度以下)をカバーしている。また、プロセスライン用駆動モータ等に適用される小容量モータ駆動システムは、交流可変速化によって高精度の個別駆動が可能となり、安定した高速ライン運転に対応できるようになった。

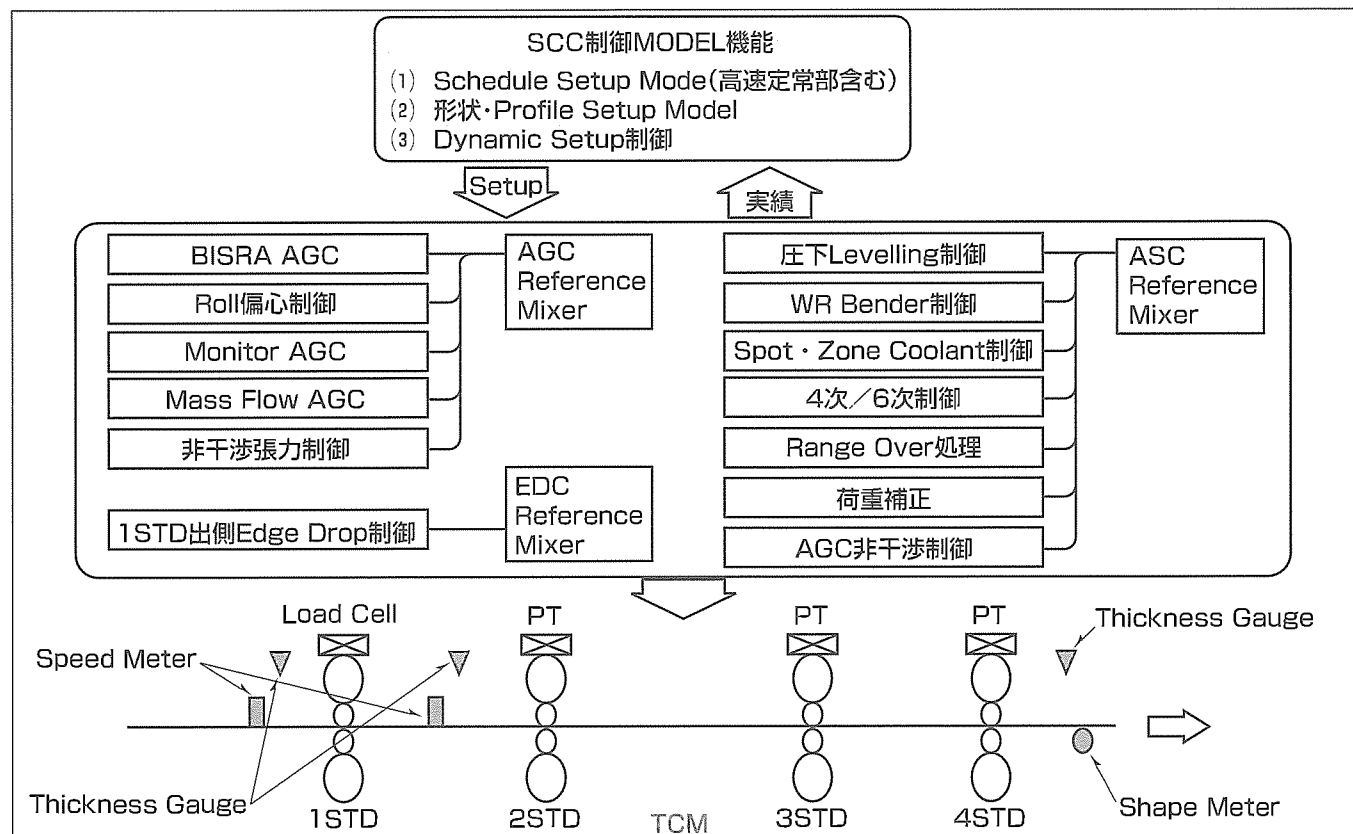
(2) 制御システム

最近の冷延プラントの制御システムは、工業用コンピュ

ータ“MR-3000”, 電気/計装統合コントローラ“MELPL AC-750”, EIC統合HMI“OPS-750GR”及び各機器を結合するネットワークで構成される大規模EIC統合制御システムである。

(3) 制御技術

三菱電機の保有する制御技術として、タンデムコールドミルの品質制御及び高速連続焼鈍ラインの炉内張力制御技術がある。特にタンデムコールドミルでは、溶接点(圧延材継ぎ目)通過時、定常高速圧延時、加減速時等、あらゆる圧延状態においてラインストップを起こすことなく通板性を安定化し、板厚・形状の品質を確保することが重要である。タンデムコールドミルの品質制御に関して、セットアップ・板厚・形状の制御技術とエンジニアリングについて述べる。



タンデムコールドミル用品質制御

タンデムコールドミル用品質制御として、ダイナミック制御からセットアップ制御まで、統合的な品質制御を開発し納入している。

1. ま え が き

冷延・プロセスプラントは、熱延プラントで製造された熱延コイル(帯状鋼板)を最終製品板厚まで更に冷間で圧延し(冷延)、酸洗、焼鈍、めっき、塗装、切断等(プロセスライン)を行う設備の総称である。近年の製品高付加価値化の流れの中でこのプラントの果たすべき役割はますます重要になっており、高速・高精度で所定の材質・形状(寸法)を満足する製品を製造できることが要求されている。こうした要求にこたえるため、三菱電機では、最新技術を駆使したシステム設計・製造を実施し、数多くのユーザーに高信頼度の電機品システムを納入し、高い評価を得てきた。

本稿では、これら電機品の特長と制御技術について概要を紹介する。

2. 駆動システム

2.1 圧延主機ドライブシステム

冷間圧延機主駆動モータ制御に適用される大容量モータ駆動システムは、従来サイリスタ装置が主流であったが、1980年代中ごろにサイクロコンバータ交流モータ駆動装置が登場する。

モータ保守が簡便なこと、モータ外形が小さいこと、制御応答性が高いこと等、長所の多いAC駆動装置は新設プラントのみならず既存の駆動装置更新工事にも適用され、程なく直流モータ+サイリスタ装置に置換することとなる。

しかしながら、交流モータ駆動装置の第一世代であるサイクロコンバータは、電源側に発生する高調波が大きく、また装置や電源トランスが複雑である等の欠点を内包していた。

早くから第二世代の大容量交流モータ駆動装置の開発を進めてきた当社は、1993年、新日本製鐵 八幡製鐵所向けTCM(Tandem Cold Mill)圧延機駆動及びテンションリール駆動装置にGTOドライブ装置を納入した。高精度、高応答、しかも電源に対してクリーン(電源力率1.0、低高調波)であるGTOドライブ装置は高い評価を得て、その後サイクロコンバータを駆逐することになる。現在では、単機10MVAのものを保有し、ほとんどすべての冷間圧延機主駆動モータ容量の範囲(6,000kW程度以下)をカバーしている。次世代インバータとしてGTOを改良した6インチ型GCT(Gate Commutated Turn-off Thyristor)を適用したGCTインバータ(10MVA/20MVA)の製品化を完了したので、今後、冷間圧延機主駆動モータにも適用していく。

2.2 補機ドライブ

プロセスライン用駆動モータ制御等に適用される小容量モータ駆動システムは'80年代当初から交流可変速駆動システムが適用され、さらに'90年代にはベクトル制御の駆

動システムが適用されるようになった。これによって以下の効果が得られる。

- (1) ヘルパロールの多いプロセスラインでは、各ロールの機械特性、ストリップの張力制御における各ロールの役割等を考慮して、個々のモータを個別に制御することが必要である。交流可変速の適用により、高精度の個別駆動が可能となり、安定した高速運転にも対応できるようになった。
- (2) プロセスラインのモータには負荷特性が力行と回生のものがあり、これらを共通コンバータに接続することによってコンバータ容量が小容量化され、電源装置が小容量化された。さらに、コンバータ装置そのものの単機容量が大容量化されてきたので、大型プロセスラインにおいても1台又は2台のコンバータ装置で全ラインをカバーできる。
- (3) センサレスベクトル制御が実用化され、プロセスラインのヘルパロール(大型プロセスラインでは200台以上あり)に適用することによって工事が大幅に削減できた。
- (4) オープン化したフィールドネットワークによって上位コントローラとのインターフェースが実現化し、各種のコントローラと接続可能となった。

3. 制御システム

3.1 制御システム構成

最近の冷延工場のプラントの制御システム構成例を図1に示す。このシステムは、工業用計算機"MR-3000"、電気/計装統合コントローラ"MELPLAC-750"、EIC統合HMI"OPS-750GR"、及び各機器を結合するネットワークで構成される大規模EIC統合制御システムである。この制御システムの特長を以下に紹介する。

3.2 構成機器の特長

3.2.1 EIC統合制御システム

近年、ラインの高速化、高品質化、操業の省力化の要素から、鉄鋼プラント制御システムは大規模化・高速化・高機能化の要求が高まっている。プラントコントローラMELPLAC-750は、高速シーケンス制御、高級演算制御、フィードバック制御、バッチ制御等の電気/計装制御を同一のコントローラで実現し、客先のニーズにこたえている。主な特長は次のとおりである。

- (1) プラントコントローラ(E)、計装コントローラ(I)、上位計算機(C)を専用の統合制御ネットワーク"MDWS-600S1"で結び、制御データとEIC統合HMI用データを共有化でき、高速サイクリックインターフェースも可能にしている。
- (2) 分散PIOを適用して現場のアクチュエータ近くに配置し、PIO盤間はフィールドバス(当社製CC-Link)で接続したので、現地配線工事を大幅に削減した。
- (3) 電気コントローラにはマルチCPUシステムを適用し、高速で最適な負荷分散、制御能力増強が可能なシステムとなった。

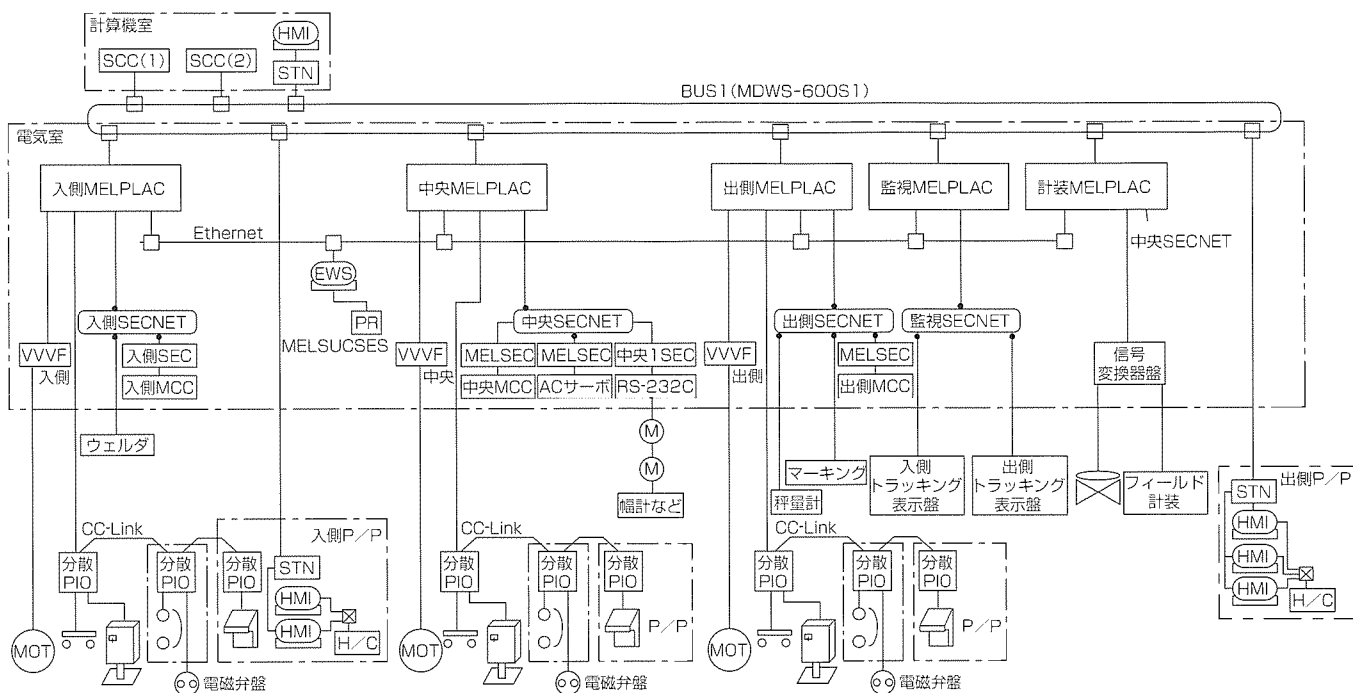


図1. 制御システム構成例

3.2.2 エンジニアリング支援ツール

プラントコントローラMELPLAC-750用ソフトウェア設計・保守用エンジニアリング支援ツールとして“MEL SUCSES”（詳細はこの特集の“鉄鋼用プラントコントローラシステム”を参照）を適用している。その主な特長は次のとおりである。

- (1) 電機品データベースによる入出力外部信号の一元管理
- (2) ソフトウェア記述言語（アルゴリズムMCD (Macro Control Diagram), シーケンスMCD, データフローMCD) によるプログラムの自動生成
- (3) シーケンスの動作状態、インタロック条件などコントローラ内メモリ状態の表示

3.2.3 保守支援ツール

バスモニタ装置によってコントローラが持つソースデータをプロセス解析のために外部に取り出し、高速・長期のデータ収集が可能である。

4. 制御技術

4.1 冷間圧延の品質制御

タンデムコールドミルでは、溶接点(圧延材継ぎ目)通過時、定常高速圧延時、加減速時等あらゆる圧延状態において、ラインストップを起こすことなく通板性を安定化し、板厚・形状の品質を確保することが重要である。

当社は、タンデムコールドミル向け品質制御として、ダイナミック制御からセットアップ制御まで、総合的な品質制御を開発し納入している(表1)。

タンデムコールドミルの品質制御に関して、セットアップ・板厚・形状の制御技術、及びエンジニアリング環境に

表1. 品質制御の納入実績及び納入予定(1990年以降)

| 納入先 | 年度 | Setup | AGC | AFC | FGC |
|-----|------|-------|-----|-----|-----|
| 海外 | 1990 | | ○ | ○ | ○ |
| 国内 | 1990 | | ○ | | ○ |
| 国内 | 1992 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 国内 | 1993 | | ○ | | ○ |
| 海外 | 1995 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 国内 | 1999 | ○ | ○ | | ○ |
| 海外 | 2000 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 海外 | 2001 | ○ | ○ | ○ | ○ |

FGC : Automatic Flying Gauge Control

ついて紹介する。

4.1.1 セットアップ制御

セットアップ制御では、圧延荷重モデルや形状モデル等のセットアップモデルに基づき、板厚・速度・形状に関する圧延スケジュールと、各ダイナミック制御向けのモデル係数を計算し設定する。

圧延材先端部の低速圧延時はもとより、高速一定速圧延時、その前後の加速前の低速時、溶接点(圧延材継ぎ目)通過時といった非定常圧延においても最適な圧延スケジュールを決定し、品質向上と安定操業を実現する。

以下に、特長的な技術を紹介する。

(1) パススケジュール配分最適化制御

パワー配分、圧延力配分、圧下率配分、品質、操業性等の制約を満足するように圧延スケジュールを決定する。

(2) 高速定常セットアップ計算

圧延材先端部(低速圧延)のパススケジュール計画が維持されるように、圧延材定常部(高速圧延)向けにセットアップ計算を行う。これにより、全長にわたりパススケジュール計画を維持し、操業の安定化を図る。

(3) ダイナミックセットアップ(DSU)

走間板厚変更後、後行材の先端板厚の不良を改善する。後行材先端部の板厚誤差は、前段スタンドの圧延力実績及びスタンド入側板厚実績を用いてロールギャップを再設定する。

4.1.2 板厚制御(Automatic Gauge Control : AGC)

タンデムコールドミルではロールギャップ、スタンド間張力が板厚に影響し、その影響度が前段スタンドと後段スタンドで異なる。また、ロールギャップと圧延速度の変化を介して張力・板厚が干渉しあう複雑な系である。

当社のAGCシステムは、これらプロセスの特長を考慮した制御機能配置・分担がなされている(図2, 図3)。

以下に特長な機能を紹介する。

(1) 高精度マスフローAGC

全スタンド板厚計と板速計を用いて、張力又はロールギャップによって板厚制御を行う。

(2) 張非干渉制御(NIC)

張力変動による板厚変動を抑制する。

(3) 最適可変制御モード

影響係数演算結果によってスケジュールに応じたアクチュエータ(張力, ロールギャップ)を選定し、最適なAGCモードを自動的に構成する。

4.1.3 形状制御(Automatic Flatness Control : AFC)

冷間圧延の形状(幅方向の伸び差率分布)精度の向上は、製品品質向上ばかりではなく、次工程の通板性安定と品質向上の上で重要である。冷延鋼板の形状は複雑なパターンとなり、形状制御では、形状の高精度検出、モデル化、及び限られたアクチュエータの最適制御が重要となる。

当社は、独自の形状検出方式を用いた高精度形状制御を基本として形状制御システムを構成している(図4)。

(1) 正規化直交関数展開(6次)による形状認識

(2) 4次, 6次制御による高次項形状制定の向上

(3) AGC非干渉制御により、形状制御から板厚制御への外乱を除去

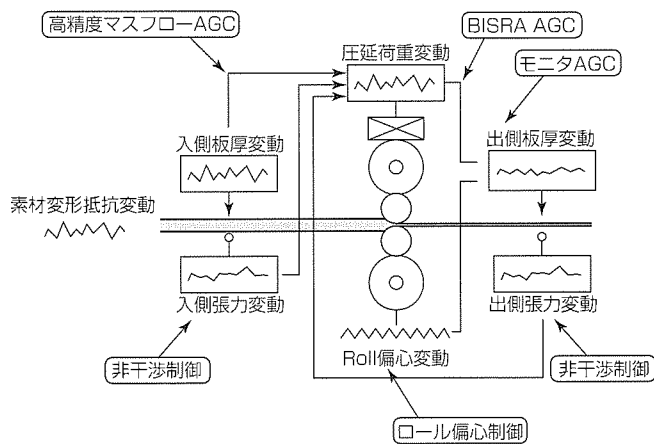
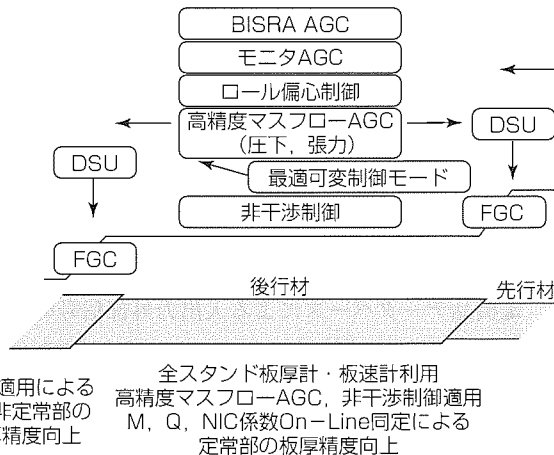


図2. 冷延AGCシステム



DSU適用による先端非定常部の板厚精度向上
全スタンド板厚計・板速計利用
高精度マスフローAGC、非干渉制御適用
M、Q、NIC係数On-Line同定による定常部の板厚精度向上

図3. AGC制御タイムチャート

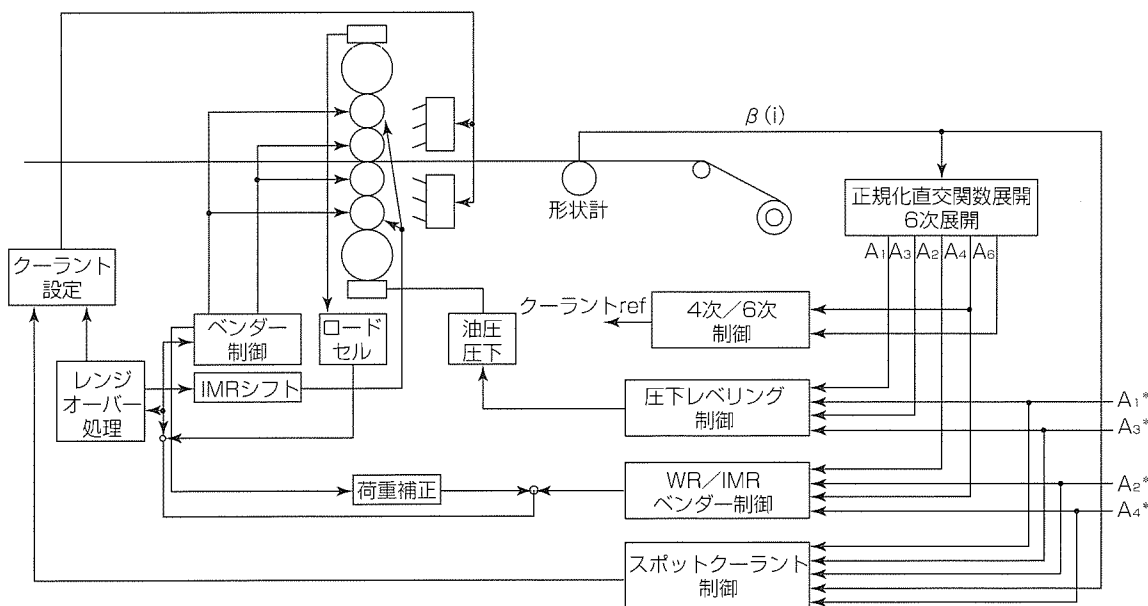


図4. AFCシステム

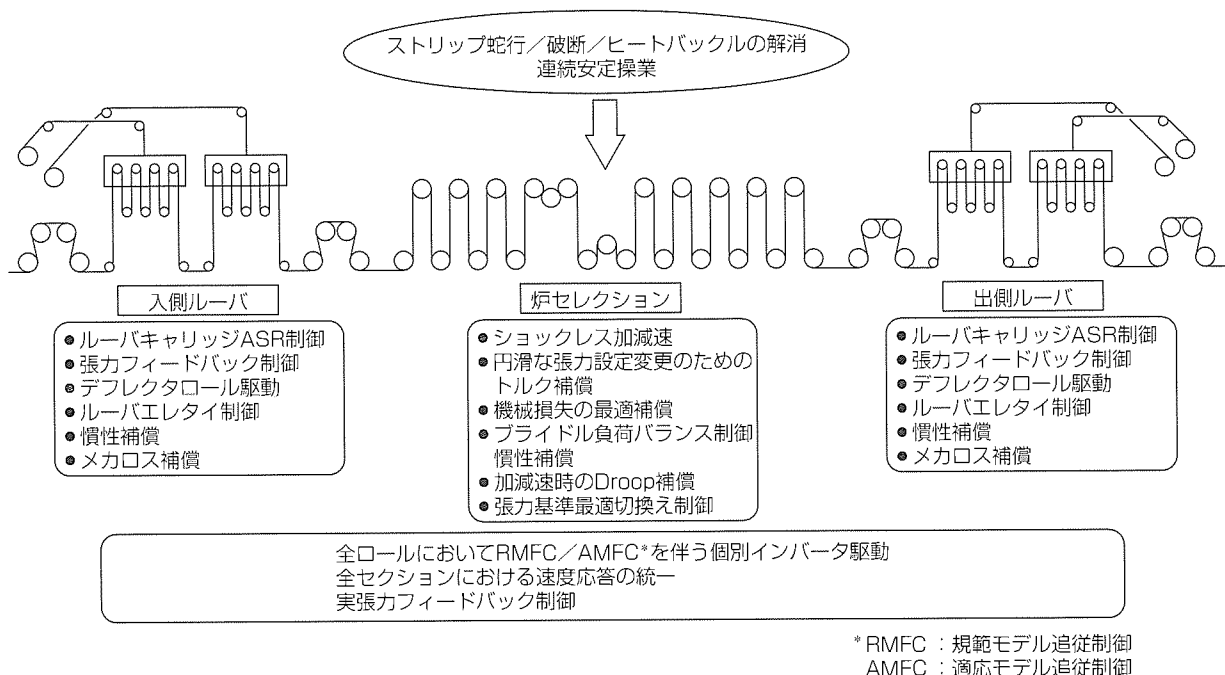


図 5. 炉内張力の制御概要

4.1.4 エンジニアリング支援・開発環境

実圧延における圧延現象解析と制御ゲイン調整の支援ツール及び制御アルゴリズムの開発ツールとして、以下のエンジニアリング支援・開発環境を構築している。

これらは、実プラントにおける製品品質の垂直立ち上げ、高精度品質制御の開発に貢献している。

- (1) 圧延モデルシミュレータ
 - 圧延モデルのパラメータ同定
 - セットアップ計算、モデル計算シミュレーション
- (2) ダイナミック制御シミュレータ
 - AGCシミュレーション
 - FGCシミュレーション
 - 張力制御シミュレーション

4.2 プロセスライン張力制御

近年、自動車、家電品及び飲料缶の需要増に伴い、素材の生産設備である連続焼鈍ラインは大型・高速となり、製品の品質も高級なものが必要されるようになった。特に飲料缶用連続焼鈍ラインは、通板材が薄くライン速度が高速でストリップ張力が低いため、ヒートバックルや板破断を防ぐ高度な張力制御が要求される。当社は、高速の薄板連続焼鈍ラインで高張力制御技術を確立した。以下にその特長について述べる。

張力変動は隣接するロール間の速度差によって発生する。この要因としては、

- 各ロールの速度/加減速応答の差
- 入出側加減速時のルーバの移動
- 空気/水などの流体抵抗負荷
- 駆動系のメカロス

● 通板材のベンディングロス

などが挙げられる。

張力変動を抑えるには各ロールのせん(揃)速性を合わすと同時に速度応答の ω_c を速くすることが必要になる。しかしながら、炉内のヘルパーロールはモータに比べて慣性GD²が大きく、 ω_c を大きくすることができなかった。これを改善するために、インバータにRMFC(Reference Model Following Control)を効果的に適用している。その他の要因に対しても各ロールの役割等を考慮して個々のロールのモータを適切に制御し揃速性を高めている。図5にその制御概要を示す。

5. むすび

当社の冷延・プロセスプラント用電機品について、最近の納入例を中心に概要を紹介した。今後、このプラントでは、ますます高精度(材質、形状)の製品を製造するため、特に操業面から更に高度な要求がなされるであろう。また、今後の高齢化・少子化社会の中で、省人、省エネルギー、メンテナンスフリー、保守支援等のキーワードもプラントシステムの重要な要素となってこよう。

当社では、今後とも最新技術を生かした高信頼度のプラント制御システムを開発・納入し、ユーザー各位の期待にこたえていく所存である。

参考文献

- (1) 高柳誠治, 浜田茂治, 矢野健太郎: プロセスライン用電機品, 三菱電機技報, 70, No.10, 989~992 (1996)

鉄鋼プラント用可変速ドライブシステム

要 旨

鉄鋼プラント用ドライブ装置はAC化の動きが定着した。6インチ型GTO(Gate Turn-off Thyristor)等の自励式素子の開発が進み、補機用小容量機から厚板や熱延仕上ミルまで、自励式(電圧型)インバータが統一して適用される例が加速している。一方、海外向け既設更新案件を中心に、DCドライブの要求も根強い。このような要求にこたえるために、開発と新製品の投入を継続して行ってきた。

(1) 新しいドライブ装置

大容量機では、10/20MVAの容量を持つGTOインバータの改良を進め、小型化(従来比55%)と高効率(97%)を達成した。さらに、スナバが不要で部品点数の削減による高信頼化と高効率(98%)を実現したGCT(Gate Commutated Turn-off Thyristor)インバータの製品投入を開始した。また、一層の電源高調波抑制、瞬時電圧低下時運転継続な

どを目的に、新しい制御方式の開発を行った。中小容量機でも、コンパクト化された新シリーズの投入を行った。

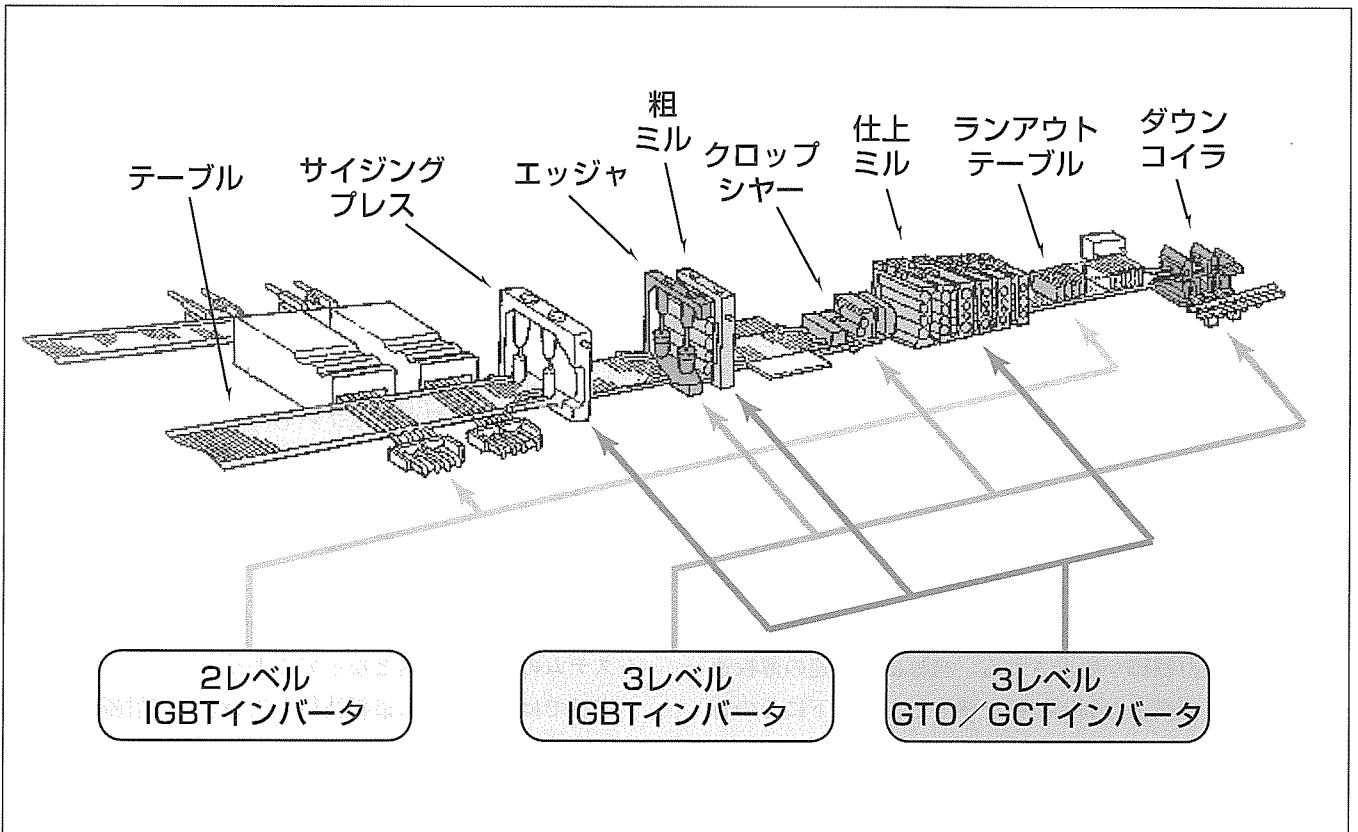
DCドライブでは、シリーズの全面見直しを行い、電流応答500rad/sを実現する新シリーズの適用を開始した。

また、これらの新しい機種では、制御インターフェースとメンテナンスを、フィールドバスとWindows[®]をベースに統一した。

(2) プラントへの適用

新しい(電圧型)インバータは、高い汎用性を持ち、多様な仕様要求のある幅広いプラントに標準シリーズを適用できるため、製品の生産安定と品質向上に寄与した。主機及び大型補機を6インチ型GTOインバータで統一した熱間圧延設備、コモンコンバータ方式の6インチ型GTOインバータを適用した冷間圧延設備などの例を紹介する。

(注) “Windows”は、Microsoft Corp.の登録商標である。



熱間圧延ミルへのACドライブ適用

テーブル駆動には2レベルIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)インバータ、エッジャやダウンコイラ等の大容量補機には3レベルIGBTインバータ、ミル主機には3レベルGTO/GCTを適用し、ライン全体をACドライブ装置(電圧型インバータ)で構成する。新しいシリーズの適用により、電気室がコンパクトになり、また制御性能が向上する。

1. ま え が き

鉄鋼プラント用ドライブ装置の電圧型インバータを用いたAC化は、1980年代半ばに補機ドライブから開始された。その後、電力半導体の性能向上によって順次適用範囲を拡大し、6インチ型GTOと3レベル制御技術の開発により、'90年に入って、熱延主機を含めた全鉄鋼プラントを対象とするに至っている(図1)。

電圧型インバータは汎用性があり高性能であるため多様なプラントに標準シリーズを適用でき、これが製品品質の安定と一層の適用拡大につながった。また、特に大容量機では、高力率コンバータの適用が一般的になったことで、電源力率1.0、低電源高調波を実現し、電源補償装置の設備量が大幅に低減され、電源系統の安定運用に寄与している。さらに、ドライブ装置に積極的に進相無効電力を発生させ、一層の系統力率改善を行う要求にも対応できる。

一方で、海外既設更新工事等で高性能のDCドライブ装置の要求が増加している。また、上位コントローラとのインタフェースのオープン化、メンテナンス機器のWindows化等の要求も拡大している。

本稿では、これらを反映した新しいAC、DCドライブ装置の概要と各種鉄鋼プラントへの適用について述べる。

2. 新しいドライブ装置

2.1 ドライブ装置の概要

図2に当社の鉄鋼プラント用可変速ドライブ装置の適用マップを、表1にそれらの装置仕様を示す。

ACドライブ装置として、中・小容量補機駆動用に2レベルIGBTインバータ“MELVEC1200”(4.5~1,200kVA)、大容量補機及び小容量主機駆動用に3レベルIGBTインバータ“MELVEC2000”(1,500~3,600kVA)、大容量補機及び主機駆動用にGTOインバータ“MELVEC3000”(10~20MVA)をシリーズ化している⁽¹⁾。また、GCTインバータもシリーズ化に加えた。

新型レオナード装置“MELNARD CF-TD/RD/UD”

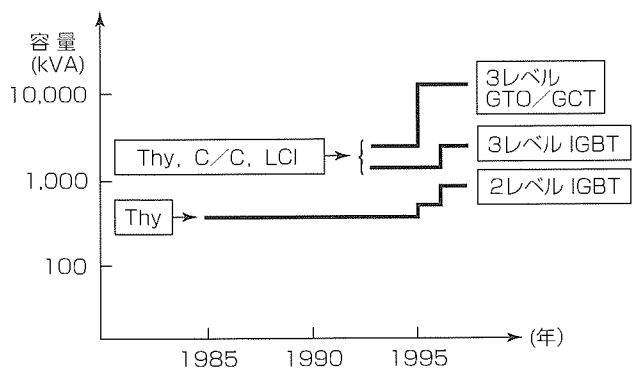


図1. 鉄鋼プラントへの電圧型インバータの適用拡大

は従来シリーズと同一の適用範囲を持ち、30~6.673kWまでの容量に対応している。

これらのAC/DCドライブ装置は、電流応答500rad/s以上の高性能性とオープン化、Windows対応を共通して実現し、制御及びメンテナンス機能の統一性を高めた。

2.2 GTO/GCTインバータ

当社では、'93年から鉄鋼プラントへGTOインバータの適用を開始し、'94年から6インチ型GTOインバータの出荷を開始した。以後改良を進め、'98年3月から第二世代のMELVEC3000N、'99年3月から第三世代のMELVEC3000Aの出荷を開始した。これらの改良により、6インチ型GTOを適用した電圧型インバータが鉄鋼主機用ドライブ装置として定着した。サイクロコンバータに代わって急激に出荷台数が増加し、現在100セットを越す実績がある。

表2に示すように、第二世代では設置面積を約2/3に低減した。第三世代のMELVEC3000Aでは設置面積約50%、質量約40%に低減し、また装置効率も97%まで向上した。制御装置の改良も併せて行い、従来15枚程度あった主制御基板を2種類×2式(コンバータ用及びインバータ用)の計4枚に低減した。面実装部品とASICを広範囲に適用することでこれを実現した。制御基板枚数の低減により、信頼性が向上するとともに、万が一不具合が発生した場合でも不具合基板の特定が容易になり、メンテナンス性も改善された。

同期電動機駆動の場合に必要な界磁も、風冷からGTO素子と同様に水冷方式に変更することでコンパクト化が可能になった。専用の盤を設けることなく、制御と界磁を一体化して、一層の小型化を図った。界磁を水冷としたことで、電気室の空調負担も軽減した。

また、6インチ型大容量素子の利点を生かしたコモコン

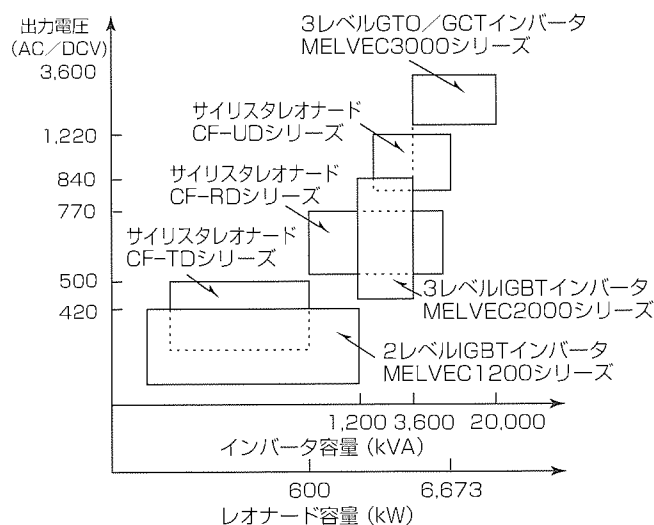


図2. 鉄鋼用可変速装置の適用マップ

表1. 鉄鋼用ドライブ装置の仕様

| 項目 | 2レベルIGBT インバータ | 3レベルIGBT インバータ | 3レベルGTO/ GCTインバータ | サイリスタ レオナード |
|-------------------|-------------------|-------------------|----------------------|----------------|
| 入力電圧(V) | 300/600 | 1,220 | 3,300/3,450 | 500/770/1,220 |
| 出力電圧(V) | 210/420 | 840 | 3,600/3,750 | 500/770/1,220 |
| 出力周波数(Hz) | ~90 | ~60 | ~60 | - |
| 速度制御精度(%) | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| 電流制御応答 (rad/s) | 500 | 500 | 600 | 500 |
| 速度制御応答 (rad/s) | 60 | 60 | 60 | 30 |
| 界磁弱め範囲 | 1:5 | 1:5 | 1:5 | 1:5 |
| トルクリップル | 0~1 | 0~0.5 | 0~0.5 | 0 |
| 冷却 | 風冷 | 風冷 | 水冷 | 風冷 |

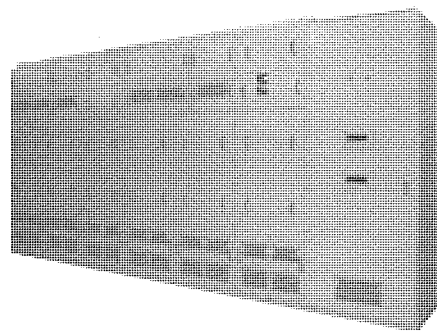


図3. GCTインバータMELVEC3000Cの外観

表2. 6インチ型GTO/GCTインバータ改良

| | GTO第一世代 | GTO第二世代 | GTO第三世代 | GCT |
|--------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 形式 | MV3000 | MV3000N | MV3000A | MV3000C |
| 主回路盤サイズ (W×D×H, (mm)) | 9,000×2,000×2,650 | 6,000×2,000×2,650 | 4,800×1,800×2,500 | 4,800×1,800×2,500 |
| 制御盤サイズ (W×D×H, (mm)) | 800×1,030×2,300 | 1,000×2,000×2,650 | 1,000×1,800×2,500 | 1,000×1,800×2,500 |
| 界磁盤サイズ (W×D×H, (mm)) | 1,200×1,230×2,300 (風冷) | *制御盤に含む (水冷) | *制御盤に含む (水冷) | *制御盤に含む (水冷) |
| 主制御基板 | 14~15枚 | 14~15枚 | 4枚 | 4枚 |
| 効率 | 96% | 96% | 97% | 98% |
| 出荷開始 | 1994年 | 1998年3月 | 1999年3月 | 2001年1月 |

ンバータ方式の適用、電源高調波をより低減させるためのコンバータの群制御方式の開発、コンバータから進相電力を発生させ電源系統力率の積極的な改善など、システムのより高性能化のための改良も併せて行った。

GTOを改良した6インチ型GCTを適用したGCTインバータMELVEC3000C(10MVA/20MVA)の製品化を完了した。

GCTインバータは、スナバ回路及びスナバエネルギー回収回路が不要であり、装置の部品点数が削減できる。これによって装置の信頼性と効率が向上した(効率98%)。6インチ型GCTインバータは、第三世代GTOインバータMELVEC3000Aと制御装置、主回路盤を共用している。主回路ユニットが異なるが、端子位置を含めて構造的に互換性を持っている。共有化により、GTOの実績で培った信頼性を継承している。図3にMELVEC3000Cの外観を示す。

2.3 IGBTインバータ

可変速ドライブ装置の高効率化・小型化を実現するため、3,600kVA以下の中・小容量装置にはIGBTインバータを適用している。

図4にMELVEC1200NSとMELVEC2000Nの外観を示す。

MELVEC1200NSは、インバータ本体を小型化し、盤幅600mmに最大12台(18kVA以下)のインバータユニットを収納可能とした。これにより、小容量インバータが数多く採用されるプロセスラインでの省スペース化に貢献してい

る。また、MELVEC1200Nは、盤幅800mmに最大75kVA 8台のインバータユニットを収納可能とし、省スペース化を実現するとともに、容量の大きい領域も1面で600kVA、多重化で1,200kVAが可能となり、同一のコモンコンバータで駆動できる電動機範囲も広がり、システム構成が幅広く選択できるラインアップを実現した。

MELVEC2000Nは、インバータ盤外形寸法を当社従来比で約40%に小型化した。また、GTO/GCTインバータと同じく、当社独自の3レベルPWM(Pulse-Width Modulation)方式(ダイヤ変調方式)を採用することにより、トルクリップルの最小化を実現している。

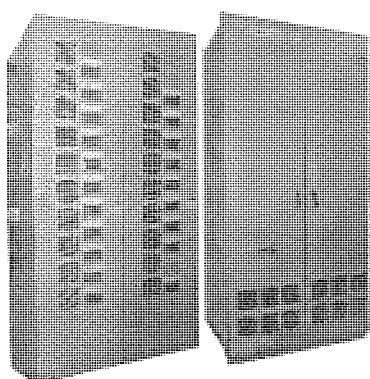
制御構成に関しては、高い制御性能を確保するためにすべてのIGBT機種に32ビットRISC CPUを採用するなど、制御の共通化も進めた。

これらの機種は、整流器として逆並列サイリスタコンバータのほかにダイオードコンバータやIGBT高効率コンバータも適用可能であり、プラント要求に応じた最適なシステムを構成できる。

サイリスタコンバータは、MELVEC1200N/NS用で4,692kW、MELVEC2000N用で6,936kWの最大容量を持っている。多数のインバータの接続が可能で電源系統が簡潔になる。また、列盤構成が容易に行えるよう、中・小容量コンバータ盤の奥行き寸法をインバータ盤と統一した。

2.4 直流電動機可変速駆動システム

サイリスタレオナードを用いた鉄鋼プラント用直流電動



(a) MELVEC1200NS (b) MELVEC2000N

図4. IGBTインバータMELVEC1200NS/2000Nの外観

機駆動システムは、'67年以来多くの実績を持っている。同年納入の装置では保守・保全を行うことによって現在も稼働しているものもある。さらに、それ以前に主流であったワードレオナードが依然として稼働中のプラントも数多く存在しているのが現状である。

したがって、旧型の設備においてプラントの生産維持をするには、プラント設備の老朽化対策を実施する必要がある。老朽化対策としては、直流電動機駆動システムから最新の交流電動機駆動システムに更新するのが理想であるが、電動機を含めた取替え工事となるため、更新工事期間が長くなるとともに更新費用も高額となる。そこで、既設の直流機を流用しレオナード装置のみを更新する方法が、工期・価格の面で老朽化対策の一つとして見直されている。

老朽化対策を容易に可能とする機能を持ち、制御性能向上及び保守を容易にすることを特長とする新シリーズを製品化したので、その概要について述べる。

(1) 制御性能

32ビットCPUによって高速高精度の制御応答を実現した。

速度応答：30rad/s(電動機単体)

電流応答：500rad/s

図5に電流応答波形の実測結果を示す。

(2) 既設設備の流用性拡大

新型サイリスタレオナード装置は、既設設備更新の際の既設設備の流用拡大と保守の容易性を開発コンセプトとして製品化したものである。既設電気品の流用拡大が容易に行えるよう、機能の追加を行った。アナログノッチ信号の最大4ノッチまでのインタフェース機能、速度フィードバック信号のPG(Pilot Generator)対応機能、既設電流センサ対応機能、既設電圧センサ対応機能等である。

3. ドライブ装置の機能拡大

3.1 クリーン電源対応

クリーン電源への対応として、各インバータに直流電源を供給するコンバータ装置にPWMコンバータを適用する

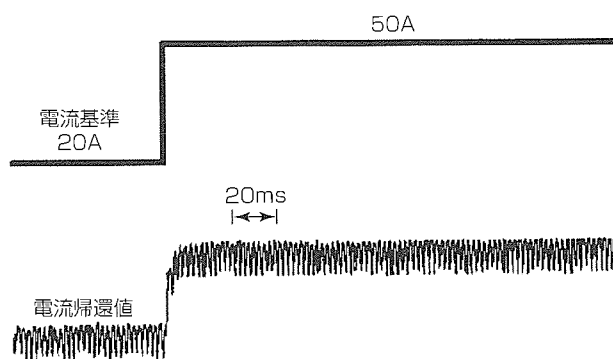


図5. 電流ステップ応答

例が増加している。クリーン電源とは、高力率、低高調波を意味する。

(1) 力率制御機能

PWMコンバータは無効電力補償装置や進相コンデンサが不要となる。従来サイリスタ装置で駆動していたラインの設備容量を3割程度アップする場合、電源容量を変更することなく更新が可能となる。さらに、力率改善コンデンサをすべて又は一部を残して撤去することが可能となり、省スペース、省メンテナンス、系統運用の安定化などのメリットがある。

PWMコンバータは、入力力率を自由に制御できる特長があり、コンバータ電流容量範囲内での進み力率運転も可能であり、系統内の遅れ無効電力を吸収して力率改善を行うことが可能である。また、系統に遅れ力率負荷と進相コンデンサが含まれる場合、アイドル中は遅れ力率運転を行いコンデンサの進み無効電力を相殺することも可能であり、系統運用の自由度が大きくなる。

(2) 高調波低減

PWMコンバータは、サイリスタ装置のような低次の高調波は極めて小さく、周辺機器への影響が低減できる。さらに、同機種のPWMコンバータを複数台同一系統に接続する場合、PWMコンバータ間のPWM調整によって高調波を相殺することで、高調波の一層の低減が可能である。サイリスタ変換器の場合、25次以下の総合電流高調波が11%近くある。これに対してPWMコンバータの総合電流高調波成分は、1台のとき約3%、2台並列のとき2%、4台並列では0.2%である。2台以上のPWMコンバータを協調制御すれば、高調波の低減効果が大きい。図6に、複数台のコンバータを用いた場合の高調波含有量低減効果の一例を示す。

3.2 制御機能

熱間帯鋼圧延設備のテーブル装置等への電動機の群制御の適用が一般的になっている。テーブル駆動は、低速域から高トルク出力が要求され、速度センサレスのベクトル制御方式を採用してこの要求にこたえている。

MELVEC1200N/NSでは、従来の制御アルゴリズムの

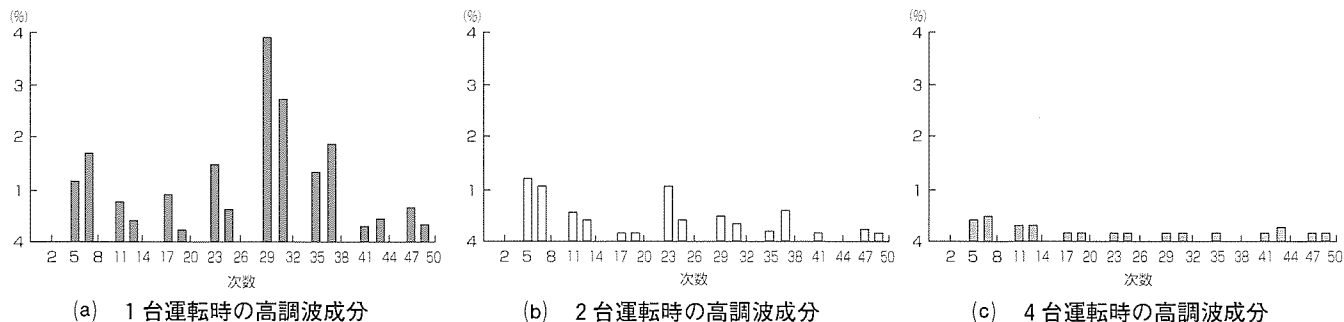


図 6. 電源高調波抑制制御

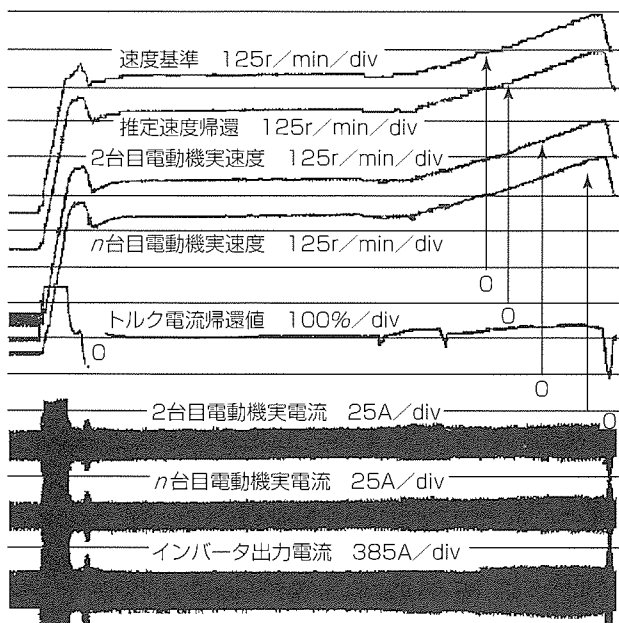


図 7. 群制御実測波形

改善を行い、適用実績を積んでいる。図7に実際の群制御時の波形を示す。代表電動機に速度センサを取り付けて挙動を観測した結果、加速指令によって電流制限で加速可能であること、各電動機と推定速度が一致していることを確認し、実プラントでの適用が可能であることを実証した。

3.3 インタフェース

(1) 汎用インタフェース

従来、鉄鋼ライン制御用ドライブ装置のデジタルの伝送は、当社独自の専用インタフェース又は当社シーケンサ(MELSECシリーズ)とのインタフェースに限られていた。

近年、ドライブ装置の上位プラントコントローラ(LEVEL1)とのインタフェースのオープン化が指向され、鉄鋼ライン用ドライブ装置への適用も加速している。種々特長のある汎用インタフェースの中で、汎用性と伝送性能を評価した上で、まずProfibusの適用を開始した(図8)。また、リモートメンテナンスへの対応も開始した。

(2) HMI(Human Machine Interface)の充実

デジタルサイリスタ装置用も含め、HMIとしてノート型パソコンを用いてWindowsベースで動作するデータ管理環境を準備し、各種データの管理・取扱いをより容易

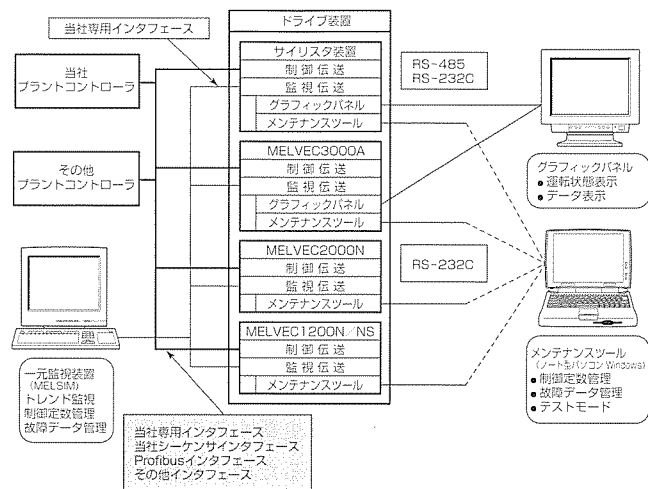


図 8. 制御インタフェースとメンテナンスシステム構成

にした。テスト運転用各種基準の発生機能、制御定数の一括Read/Write機能、トレースデータの保管と表示の従来機能に加え、故障トレースデータなどを送受信する通信機能の汎用性により、遠方からの充実したアフターサービス支援への適用が可能となった。

一方、GTOインバータ装置及びサイリスタレオナード装置には、保守支援機能を強化するため、保守データや故障ガイダンス表示を行うグラフィックパネルをオプションとして盤面に取り付けられるようにした。運転状態表示、故障表示、トレースデータ管理、保守データ表示、定数設定及び定数設定ガイダンス表示が可能である。

グラフィック例としてサイリスタ装置の運転状態の表示例を図9に、故障表示例を図10に示す。故障アイテム、故障内容のガイダンス及び故障診断表示により、取扱いマニュアルレス化を目指している。

4. 新しいドライブ装置の適用拡大

4.1 コモンコンバータ方式の拡大

冷間圧延設備の既設更新案件への適用例として、主機駆動にはGTOインバータMELVEC3000Aを、テンションリールなどの中小容量補機駆動にはIGBTインバータMELVEC1200N及び2000Nを適用した例を示す。

表3に主駆動へのインバータ適用を示す。

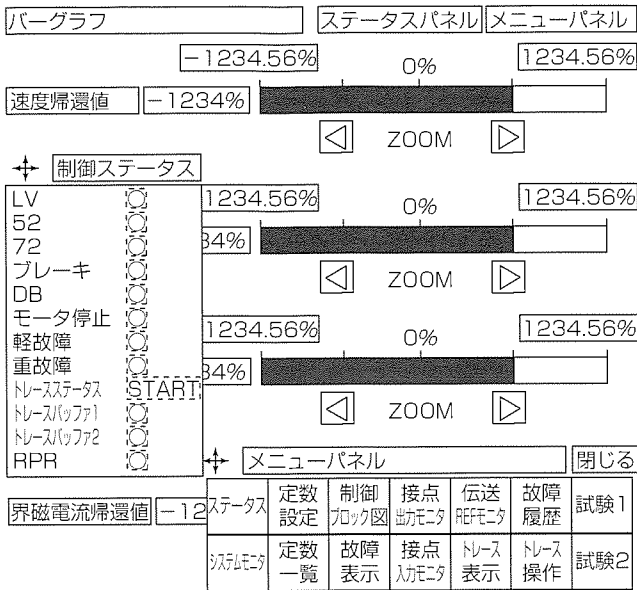


図9. 運転状態表示画面

表3. 冷間圧延主機駆動設備へのインバータの適用

| 対象 | 電動機仕様 | 適用インバータ |
|--------------------------|--|--|
| No. 1 Stand | 1 - 3,800kW, 440 / 1,100r / min, IM | 1 - 3,000A |
| No. 2 Stand | 1 - 3,800kW, 440 / 1,100r / min, IM | 1 - Common Conv. |
| No. 3 Stand | 1 - 3,800kW, 440 / 1,100r / min, IM | 2 - 3,000A Inv. |
| No. 4 Stand | 1 - 3,800kW, 440 / 1,100r / min, IM | 1 - Common Conv. |
| No. 5 Stand | 1 - 3,800kW, 440 / 1,100r / min, IM | 2 - 3,000A Inv. |
| No. 1, 2 Tension Reel | 2 - 1,250kW, 315 / 1,579r / min, IM | 1 - IGBT Common Conv. 2 - IGBT Inv. |

IM: インダクションモータ

システムの簡略化及び信頼性の向上を目指して、No. 2及びNo. 3スタンド、No. 4及びNo. 5スタンド各々のグループでコンバータを共通コンバータとした。

テンションリールは各々2台のIGBTインバータをリアクトル結合して給電する方式とし、また、2台のリールの同時稼働はないところから、コンバータは共通とした。系統を図11に示す。

全機種にPWMコンバータを採用し、さらにGTOインバータはコンバータのPWM位相を制御することで積極的に高調波低減を行った。電動機容量は増加したが電源設備の増加もなく、また力率改善コンデンサや高調波フィルタを追加することもなく、既設電源設備を適用できた。

4.2 瞬時電圧低下時運転継続

サイリスタコンバータやサイクロコンバータの場合は、電源電圧が定格値以下になると転流失敗によって運転を継続できなくなる可能性が高くなるばかりでなく、ヒューズ溶断に至る重故障となる場合もある。電源側に高力率コンバータを適用した場合、電源電圧が低下した場合でも運転を継続できるという特長がある。

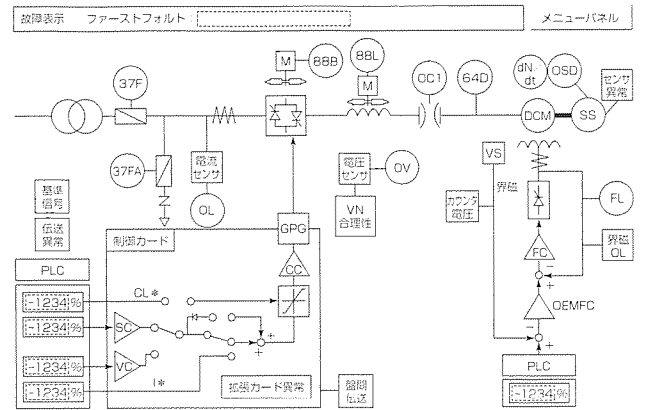


図10. 故障表示画面

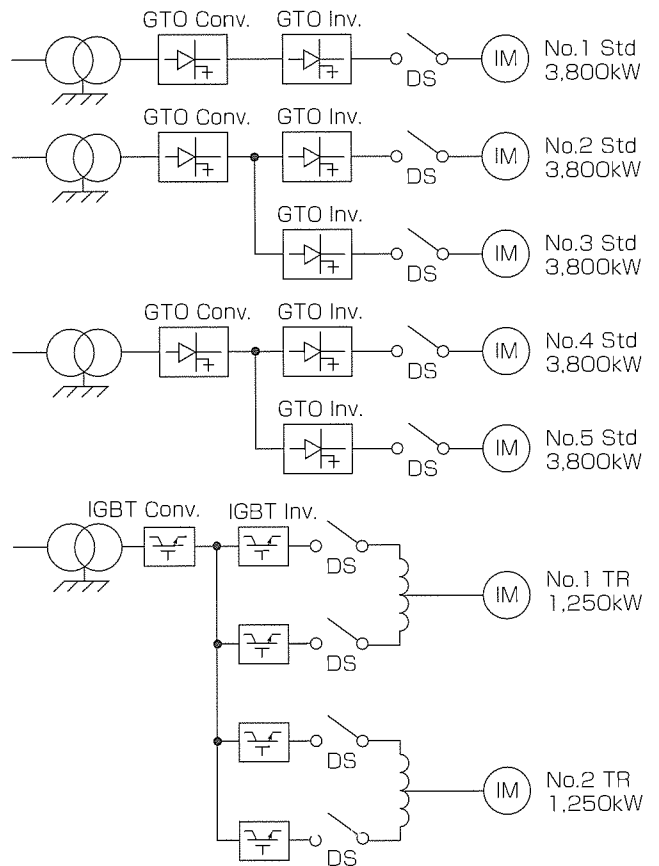


図11. 冷間圧延主機駆動例

この特長を生かして、電源じょう(擾)乱が多発するプラントへの適用例がある。瞬時電圧低下によってインバータが停止すると板破断等の不具合が発生し、復旧に多大な時間を要し、損失も大きくなる。

夏場に雷の発生が多く年40回に達する瞬時電圧低下があるプラントで、主機GTOインバータ及び補機IGBTインバータの電源側変換器にPWMコンバータを採用して、40%、0.1秒の電圧低下でも運転を継続できる設計とした例がある。UPS(Uninterruptible Power Supply)から供給するバックアップ用制御電源容量を必要最小限にするため、純水冷却装置用ポンプなどは対象外として、費用負担の軽い瞬時電圧低下時連続運転システムを実現した。

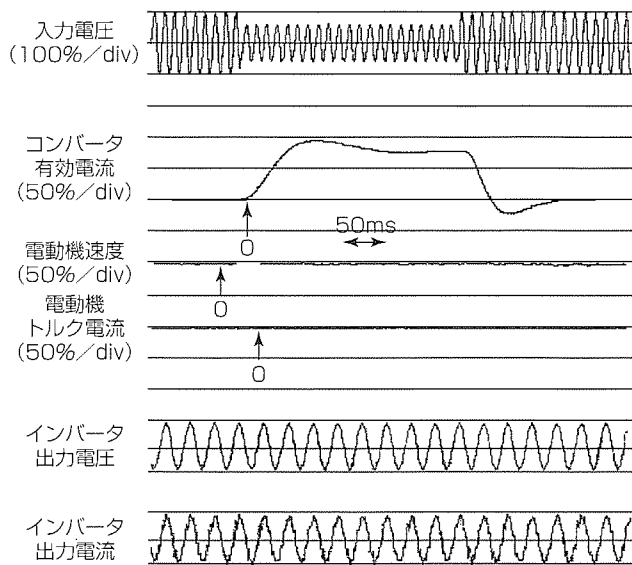


図12. 模擬瞬時電圧低下試験結果

図12に、模擬的に瞬低を発生させ運転継続確認を行ったチャートを示す。高応答の制御によって安定した運転を継続していることが分かる。

5. む す び

鉄鋼プラント用ドライブ装置への電圧型インバータの適用が定着したこと、及びその性能が着実に向上したことに

ついて述べた。これは、電力半導体の性能向上に負うところが大きい。今後も、電力半導体の性能改善は継続し、装置の一層のコンパクト化と高性能化が実現されると考える⁽²⁾。

特に大容量領域では、製品化が開始されたGCTインバータの適用が拡大し、シリーズ化も充実して、鉄鋼プラントの高性能化と安定操業に寄与するものと期待できる。

一方、中小容量域では、IGBTを中心とするMOS系の素子の改良が進み、その適用領域は今後も次第に拡大すると予想される。

電圧型インバータの適用の拡大と性能向上によってハードウェア、ソフトウェアの標準化と機種(特に制御装置)の統合が進み、さらにオープン化とWindows化の拡大によって取扱いが容易な装置が実現するものと考えられる。

これらの動向に注視し、今後も鉄鋼プラント性能の向上のために貢献する所存である。

参 考 文 献

- (1) 小川晴樹, 下村弥寿仁, 山口弘昭: 鉄鋼プラント用可変速ドライブシステム, 三菱電機技報, 73, No.7, 487~490 (1999)
- (2) 山田富久: 21世紀に向けたパワーデバイス技術, 三菱電機技報, 71, No. 12, 1061~1064 (1997)

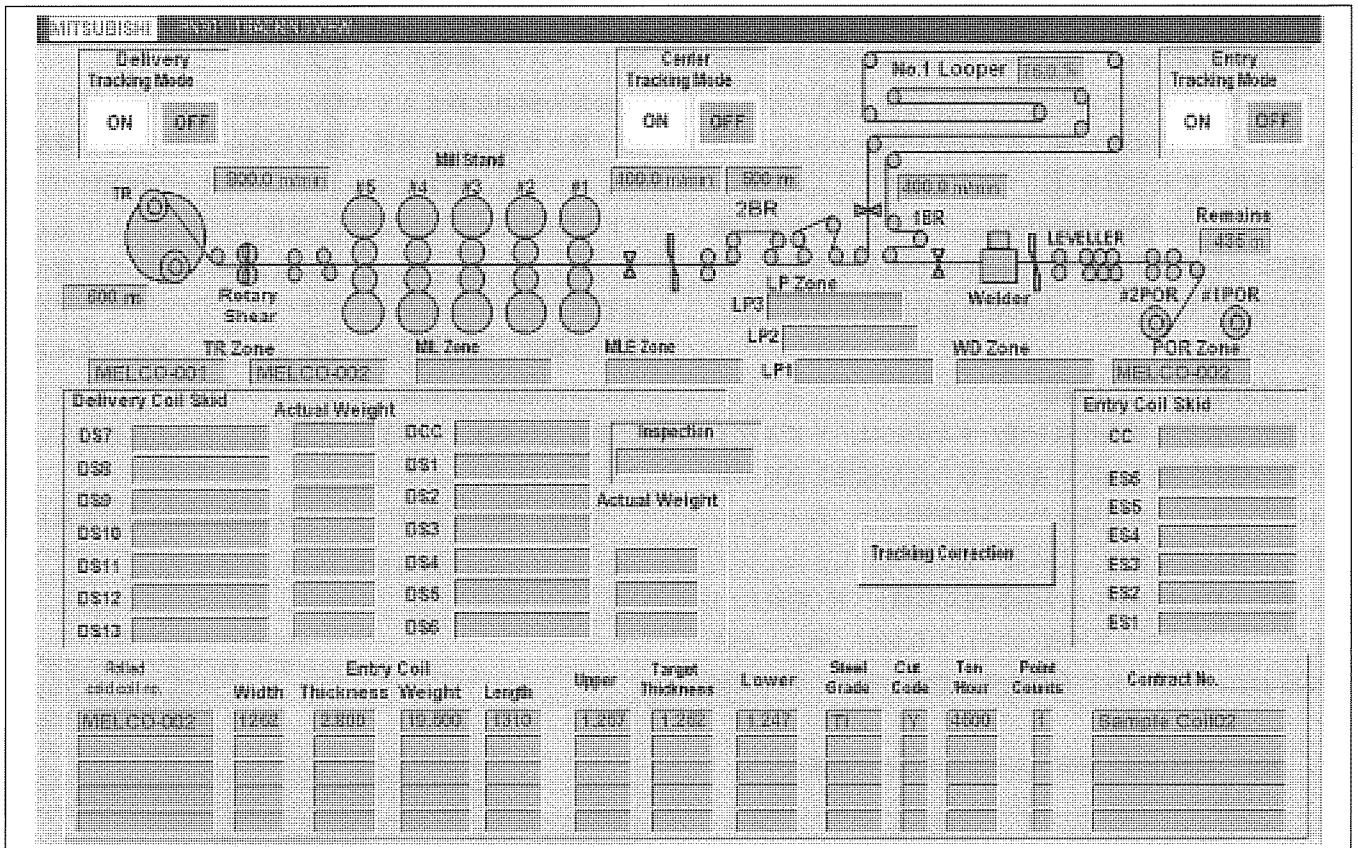
鉄鋼プラント制御用計算機システム

松田茂彦*
平塚紀嘉*
水野秀司*

要旨

鉄鋼ICS(Industrial Computer System)は、鉄鋼プラントにおける製造プロセスの総合的な制御を行う。これらは、制御モデルによる品質制御という非常に高速な演算を要求するものや、帳票やヒューマンマシンインタフェース(HMI)、上位への伝送、下位への設定を行うといった機能などがある。近年における世界的な鉄鋼ICSの潮流として、安価・オープン・保守が挙げられる。これは、①鉄鋼プラントシステムの低価格化が進み、パソコンなど廉価製品の適用が加速している状況にあること、②保守性を考慮して、信頼性の高い汎用ネットワークの適用など、マルチ

ベンダーに対応したオープンな環境が要求されていること、さらに、③老朽化した設備の延命化でのコスト削減や世代交代による経験技術者の減少、保守エリア拡大などにより、保守業務の改善が要求されていること、に裏付けされる。そこで、日本・欧米でのシステムの指向を分析し、今後我々が選択すべきハードウェア(H/W)、オペレーティングシステム(OS)、ミドルウェア(M/W)、アプリケーション(APL)を述べ、現状の最新機種に関する戦略を示した。



鉄鋼ICSによって制御される鉄鋼プラントシステムのトラッキング画面

図は、鉄鋼ICSにおける一つの機能を示している。鉄鋼ICS設備の一部として構成されたCRTデバイスに、計算機での各種イベント(センサ信号、データ伝送など)がトラッキング制御処理され、コイルがトラッキングされていく様子を各種プラント設備にひも(紐)付けられたプラントデータとともに表示している。

1. ま え が き

我が国の鉄鋼業は、国内の不況による設備投資抑制の下、その競争力を維持・強化するために極めて厳しい状況にある。鉄鋼プラント設備をコントロールする計算機システムも、その適用領域別に適正なシステム構築を目指して、オープン化・ライトサイジング化が急速に進んでいる。

圧延の下工程等においては既にこの考え方によるシステムが構築され、将来的には圧延ラインへの適用も考慮されるまでになってきた。

制御用計算機システムは、従来からの必ず(須)機能であるリアルタイム性・高信頼性とともオープン性を兼ね備えることが今や必須となっている。また、プラント設備として稼働年数の長い鉄鋼分野では、上記の特性だけでなく、保守の継続性についての要求が特に強い。

本稿では、鉄鋼プラント向け制御用計算機システムの動向、システム構築についてのコンセプト、産業用計算機MRシリーズとMWSシリーズそれぞれについて特長・構成例を紹介し、今後の動向について述べる。

2. 鉄鋼プラント向け制御用計算機システムの動向 (1)(2)

2.1 制御対象による計算機具備事項

鉄鋼プロセスは制御対象によって必要とされるリアルタイム性及び信頼性のレベルが異なり、制御対象となるプロセスに対応したシステム構築が必要となる。表1に示すように各プロセス内での制御システムはレベル1, 2, 3に階層化され、それぞれ機能レベル、リアルタイム応答性、ソフト駆動、言語等に相違がある。各プロセスに対する機種選定においてリアルタイム性は必要な要素であるが、最近では汎用LAN等による各階層の接続性が重要な要素となってきた。

2.2 従来型のシステム構築

上記のシステム要求仕様を満たすためには、リアルタイム性能に優れ、かつ24時間連続運転の高信頼性と高可用性が不可欠である。計算機を始め各制御機器は、各メーカー独自の固有技術を駆使して設計・製作がされてきた。システム構築もB(ビジコン：生産管理計算機)、E(電気)、I(計装)、C(プロセス計算機)がそれぞれ集中/独立した構成で行われ、それぞれに高機能化が進められた。その反面、

表1. 鉄鋼情報・制御システムの階層と主相違点

| | | |
|--------------|-------------------------------------|--|
| レベル3 ビジコン | 生産管理コンピュータ | 生産管理 応答：秒 駆動：数分レベル メッセージ駆動 言語：汎用言語COBOL |
| レベル2 プロコン | 生産基幹LAN プロセス制御計算機 | プラント操業管理 応答：数十ミリ秒 駆動：イベント検知成り込み、定周期スキャン 言語：汎用言語C, FORTRAN |
| レベル1 電気計装 | プロセス制御LAN 電気PLC 計装DCS PI/O | 電気PLC 操業制御 応答：ミリ秒レベル 駆動：高速スキャン 言語：専用ラダー |
| | HMI/TWI | 計装DCS 操業制御 応答：低速スキャン 駆動：低速スキャン 言語：専用タグ |

EIC間の機能重複、端末数増加等の問題点も発生してきた。

2.3 EIC統合、制御中心から情報・制御中心へ

1990年代に入って、扱う情報を共有化しEICを統合する方向に動き始めた。この動きに対する技術基盤はLANであり、各機器のインテリジェント化がその普及を加速し、プロセス入出力(PI/O)やヒューマンマシンインタフェースも共用によって統合されてきた。LANも、その扱うデータ量及び速度によって汎用LANから専用高速LANまで階層を持ち、Ethernet(注1)タイプからFDDIタイプまで制御システムの用途によって各々使い分けられている。

扱うデータも従来の制御データのみならず各種操業の情報処理データをも含み、情報系・制御系トータルのシステムへ移行してきた。

2.4 支援系を含めたトータル情報・制御システムへ

このころから、制御システムのオンライン基幹系のみならず、各支援系システム(エンジニアリング支援、操業支援、診断支援、保全支援、ソフトウェア開発支援等)とも接続しプラントトータルの生産の最適化を図る情報・制御システムが要求されてきた。機能形態としてC/S(Client/Server)型の構成も採用され始めている。上述の情報・制御システムの変遷を図1に示す。

3. 鉄鋼情報・制御における制御用計算機システム

3.1 システム構築のコンセプト

前章の動向を踏まえて実際にシステムを構築していくには、様々な条件から最適の構成を組む必要がある。構築のコンセプトは、図2に示すように、システム構築について“より幅広いSolutionの選択、提供”が可能なことである。すなわち、システムには、基幹系システムとして位置付ける構成、その他支援系としてオープンシステムとして位置付ける構成、又は徹底的なライトサイジングを追求するシステムの構成等が必要となる。したがって、そのシステムに要求される様々な特質に合う最適な構成を構築していくことが重要になってくる。

当社は、豊富な経験に基づく鉄鋼向け制御用計算機技術

(注1) “Ethernet”は、米国Xerox Corp.の商標である。

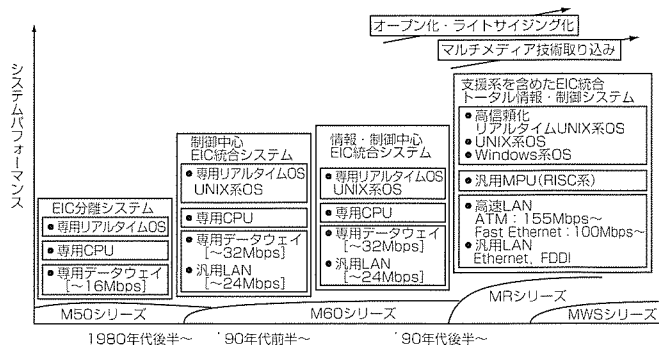


図1. 鉄鋼分野における情報・制御システムの変遷

を駆使し、最適な構成を今後も提供し続けていく所存である。

基幹系システムには産業用計算機MRシリーズを、オープンシステムには新規開発のMWSシリーズとMRシリーズ下位機を主機種として最適なシステム構築が行える。また、両機種及び汎用EWSであるME-Rをサーバとして共存させた統合システムの提供も可能である。

以下に、産業用計算機MRシリーズ及びMWSシリーズを使用した鉄鋼制御用計算機システムについて述べる。

3.2 産業用計算機MRシリーズによるシステム構築・特長

近年のオープン化・ライトサイジング化の波は、従来専用プロセス計算機によるシステム構築を行ってきた鉄鋼プラントに対しても押し寄せてきている。

そのため、リアルタイム性を必要とする鉄鋼システムにおいても、オープン性を具備した計算機システムが必要とされている。

MRシリーズによるシステム構築の特長を次に示す。

(1) リアルタイム性とオープン性の確保

MRシリーズは、従来から使用されてきた実績のあるリアルタイムOS思想を継承してリアルタイム応答性／システム解析性を確保し、POSIX準拠リアルタイムUNIX^(注2)による優れたオープン性を提供している。これにより、従来のプロセス計算機やEWSシステムでは成し得なかったリアルタイム処理とオープン性とを両立させたシステム構築が可能となった。

(2) 高速演算性

最先端の高速RISCプロセッサ搭載により、プロセス計算機として最高水準の演算性能を達成している。

(3) 信頼性(RAS機能)及び保守性の強化

連続稼働を前提として、下記機能の提供によってシステムの高信頼化、安定性の確保を行っている。

- 高信頼化 : 徹底したLSI化
- : ミラーディスクの採用
- : 周辺機器に対するエラーリトライ
- 連続運転性 : イニシャライズ機能
- 保守性 : デバイスに対するオンライン診断
- : LEDによる分かりやすいエラー表示
- : エラー情報保存

(4) システム構築の柔軟性

鉄鋼制御システムではビジコン、プラントコントローラ、

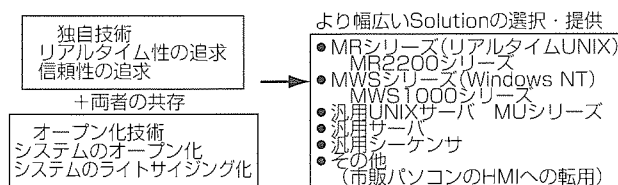


図2. 産業用計算機システムへの取組

計装システムなど異機種との接続が必要であるが、MRシリーズの持つ豊富なネットワーク機能を生かして自在にシステム構築ができるようになった。

例えば、リアルタイム応答性が重視されるシステムに対しては統合制御バス(MDWS-600S1)、オープン性重視のシステムに対してはEthernet、またリアルタイム性・オープン性を両立した制御用FDDIからの選択が可能である。そのほか、通信機能として回線サーバを介して当社の制御専用機器のみならず汎用機器との接続も容易に可能となった。

図3に、制御用FDDIを使用した熱延システムの構成例を示す。

3.3 MWSシリーズによるシステム構築・特長

最近の情報システムにおけるオープン化・ライトサイジング化の波を受けて、鉄鋼制御システムにおいても、従来のプロセス計算機一辺倒のシステム構築からFAパソコンによるシステム構築が行われるようになってきた。

FAパソコンの使用により、オープンなプラットフォームによる他機種接続の容易性、優れた開発環境によるソフトウェア開発期間の短縮、生産性の向上、及びこれらに伴うコストダウンなど従来の制御用計算機システムに比較し経済的にシステム構築ができるようになった。

このメリットを生かしプロセス計算機と同様のRAS機能と保守性を持たせた産業用小型計算機MWSシリーズを新たに開発した。

図4に、鉄鋼検査システムへの構成例を示す。

MWS1000によるシステム構築の特長を次に示す。

MWS1000は、Windows NT^(注3)、鉄鋼制御用計算機と

(注2) “UNIX”は、X. Open Co. Ltdがライセンスしている米国及び他の国における登録商標である。
 (注3) “Windows” “Windows NT”は、米国Microsoft Corp.の商標である。

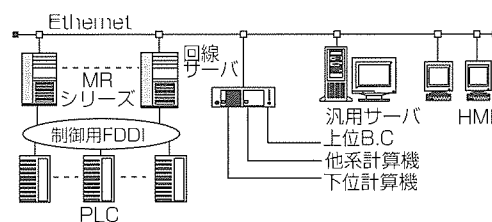


図3. 制御用FDDIを使用したシステム構成例

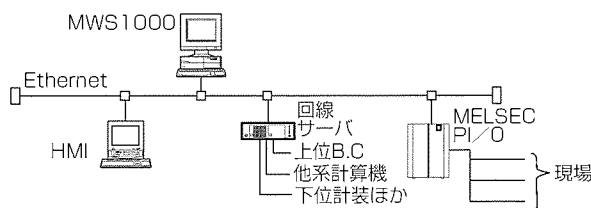


図4. MWS1000を使用したシステム構成例

して必要な新規開発のプロセス管理、ファイルシステム、PI/Oドライバ等の基本ソフトウェアをサポートし、オープン性と優れたコストパフォーマンスとを兼ね備えた鉄鋼制御用計算機である。

この計算機は、従来のパソコンシステムと比較し以下の特長を持っている。

(1) 信頼性の強化

連続運転を前提として、下記機能の提供によってシステムの信頼性の向上を実現している。

(a) 高信頼化

- ファン位置の最適化による拡張基板/ディスクユニットの冷却強化
- 電源装置/ファンの長寿命品採用
- 振動吸収用固定金具による拡張基板の安定実装

(b) RAS機能

- 異常検出通知機能
 - ウォッチドグタイマ(WDT)/ファンアラーム
 - 電源異常/温度異常検出/EICバス異常
- 信頼性向上
 - UPSインタフェース
- システム監視
 - リモートリセット/接点入出力

(2) 接続性

業界標準のインタフェースを使用して各種のオープンなデバイスと接続が可能である。また、独自の直結PI/O及び制御用データウェイを使用することもできる。

- Ethernet
- EICバス
- 直結PI/O
- 100BASE-T(オプション)
- MELSECNET(オプション)

(3) 保守性の向上

(a) 長期保守継続

生産終了後も機能互換機種の提供によって従来の産業用計算機並みの保守期間の確保

(b) 有寿命品の交換容易化

前面メンテナンスによってフィルタ、ファン、ディスクの交換が容易に実施可能

4. オープン対応ソフトウェア

世の中の動向に対応するため、ソフトウェアの領域では、保守性を考慮したオープン化及び価格破壊に伴う低価格化への対応、標準化によるソフトウェア生産の容易性向上を進めるために、OS、ミドルウェア、APLにおいてニーズに合った選択を必要としている。

4.1 OSの選択

従来から考えられてきた鉄鋼ICSにおけるOSに必要な要

素は、リアルタイム性・高速演算性・高信頼性・保守性であった。現在では、システム構築の柔軟性を考慮したオープン性の要求、高速チップの普及によって適用領域を拡張したパソコンの進出が新たな要素として加わった。さらに、顧客責任で保守を行うことを前提としている海外顧客に限定して、海外保守拠点の充実した汎用計算機の採用が挙げられる。これにより、適用OSとして以下を選択し、最適なシステム領域への適用を行う。

- (1) リアルタイム処理とオープン性を両立し、高信頼なシステム解析性を確保したPOSIX準拠のMI-RT(MRシリーズ)
- (2) オープンなプラットフォームと機種接続の容易性、優れた開発環境を持ち、ライトサイジングに対応したWindows NT(パソコン)
- (3) UNIXライクであり、オープンソースソフトウェアで保守性が高く、連続稼働にも安定し、コストダウンにも対応したLinux(パソコン)

なお、海外顧客に限定し、全世界のサービス拠点と多方面での適用実績から、顧客ニーズの高いOSの適用領域と変遷を図5に示す。

4.2 ミドルウェアの選択

鉄鋼APLが使用する共通的な機能を簡単なインタフェースでプログラム製作ができることを目的として、従来から鉄鋼ミドルウェアを提供してきた。この鉄鋼ミドルウェアに対して将来に向けて我々が選択した方向は以下のとおりである。

- (1) 顧客が蓄積してきたソフトウェア資産を生かすことを考慮して、APLのインタフェースを言語(FORTRAN, C)を含め従来のものと同一とし、従来機種からの継承を行うこと
- (2) 各適用機種でのOSの違いや基本ミドルウェア(プロセス管理やファイル管理など)の違いをミドルウェアインタフェース(MWI)関数として吸収し、機種依存性をなくすことで試験の効率化や製作量の縮小化によるコストダウンや品質の向上を行うこと
- (3) オープンな汎用ネットワーク(Ethernetなど)によ

| 適用領域 | 95 '96 '97 '98 '99 '00 '01 '02 | 特長 |
|---------------|---|---------------------------------|
| 1 熱延、厚板、冷延など | OS60 MI-RT...高リアルタイム制御の必要な領域 Open VMS...海外顧客のニーズに対応したもので、海外での適用実績から採用。 | 大規模かつ高速処理の要求大。リアルタイム性は高い。 |
| 2 高炉、原料、転炉など | Linux...MRIほどのリアルタイム性はないが、汎用UNIXより処理が軽く、性能が高い。連続稼働にも安定。 将来は2、3での機種区別がなくなる。 | 大容量情報処理などで機能数は中程度。リアルタイム性は高くない。 |
| 3 試験設備、付帯設備など | Windows NT...低価格システム向けで、高速レスポンスを必要とせず多くの流通ソフトウェアの適用が可能。 | 機能数も少なく、リアルタイム性は高くない。 |

図5. OSの適用領域と変遷

て機能分散が図れたインテリジェントデバイス(高機能描画ソフトウェアやWeb(Javaを含む)を採用したヒューマンマシンインタフェース(HMI)、クラスタシステムや共有機能サーバを想定したクラスタリングマルチサーバ(CMS)など)のようなオープン化デバイスに対応すること

- (4) 関数レベルでの動作履歴を取得するトレース機能を組み込むことで、トラブル発生時の解析性を向上させること

これらを考慮した鉄鋼ミドルウェアのソフトウェア構成を図6に示す。

なお、HMI(Human Machine Interface)は、グラフィカルな画面を表示し、データの表示/設定を行うためのCRTデバイスであり、CMS(Clustering Multi Server)は、各種外部機器との接続を管理し、切換えやパラ送信などを制御するサーバデバイスである。

4.3 APLの選択

APLの制作は、システム計画～ソフトウェア製作～試験～出荷といった過程を踏み、長期間にわたる工期を必要とする。また、計算機の仕様は操業方案・運転方案の上に成り立っているため、各方案の決定遅れはその後の作業に大きく影響する。そこで、仕様の確定時期に左右されず品質の高いAPLを作るために以下を行う。

- (1) 型変換などの単純な演算処理の分離と上流ドキュメントからのソースモジュールの自動生成
- (2) GDF, P-LINK, データベース構成・属性リスト, アラームリスト等の各種ソフトウェア仕様書からAPL起動関数・ファイルアクセス関数・アラーム要求関数などの自動生成と、各システムに対応した論理API設計
- (3) 上記ソフトウェア仕様書とトラッキング管理表からのトラッキングひな(雛)形生成
- (4) マルチプラットフォーム環境への対応
- (5) これらを統合した開発環境(ビルダ, ジェネレータ)の提供

このAPL標準化における適用構成イメージ図を図7に

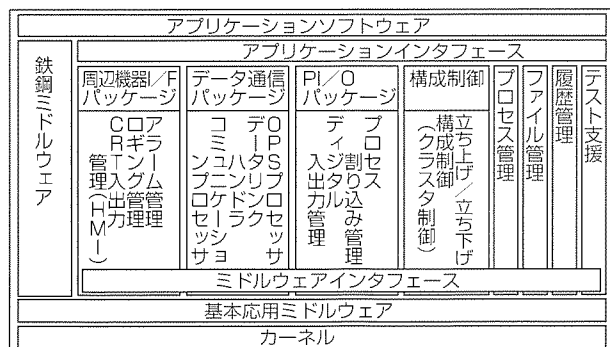


図6. 鉄鋼ミドルウェアのソフトウェア構成

示す。

なお、GDF(Global DataBase Flow)とは、システムで扱うデータの各種イベントに対するデータベース間の流れであり、P-LINK(Program Linkage)とは、各種イベントに対する処理プログラムの紐付けである。

5. 保守性の確保

昨今の国内外各製鉄所においては、設備更新計画の延期に伴う旧機種比率の増大、合理化、人員減少による熟練技術者の払底、担当者一人当たりの保守範囲の拡大など、保全者の負担が大きくなっている。そのため、これら問題を支援する仕組みとして、顧客の現場を直接支援するリモート保守、保守品でのマルチベンディングシステムの採用を行っている。

5.1 リモート保守支援

計算機が故障した場合、早急にその故障箇所を特定し復旧させる必要がある。現在は、システムごとに締結した保守契約に基づきサービスセンターから駆け付けたサービス員が計算機のランプ状態、システムコンソールでの計算機内部情報から総合的に判断し故障機器を特定する方式を行っている。これに対して、リモート保守支援とは、計算機を電話回線でサービス拠点と接続し以下の対応を目的とした保守方式である。

- (1) あらかじめ故障の兆候をつかみ、予防保全を行う
- (2) 故障時拠点で故障機器を特定し、顧客に対して復旧策を支援する
- (3) 特定した故障機器の予備を持参して現場に出動し、復旧する

図8にリモート支援のシステム構成を示す。

故障情報はTSUBASAというミドルウェアを介して電話回線又はインターネットで発信され、保守拠点においてWEB画面で参照される方式としている(TSUBASAは、WEB技術とICS技術を組み合わせた高信頼性、高性能なWEBサーバである。監視設備に組み込むことにより、ブラウザから監視できる経済的なシステムが構成できる。また、TSUBASA自体は、主記憶1Mバイト以下で動作できるためアプリケーションへの影響も小さくできる特長がある。)

また、上記故障情報だけでなく、将来は保守支援として以下のような操業支援を含む環境の構築を予定している。

- (1) プラントの操業状態や稼働効率の遠隔での集中監視
- (2) 製鉄所内の他のパルピット又は現場からの画面操作、他の建屋からの監視などモバイル機能支援
- (3) 在宅での休日/夜間スタッフ業務支援、さらにはトラブル発生時でのメーカーからの遠隔操作支援

上記により、小人数でも確実に迅速な保守保全ができる環境が可能となる。

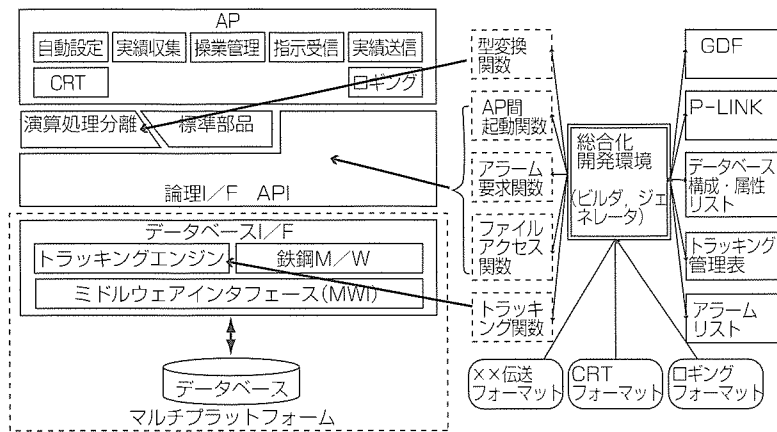


図7. APL標準化における適用構成イメージ

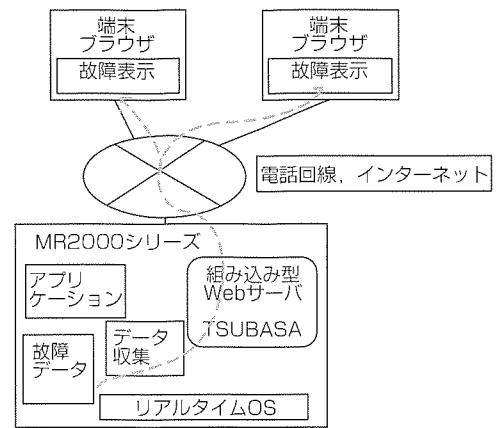


図8. 計算機故障時のリモート保守支援

簡易的には市販のWindows画面共有ツールによる遠隔支援、また図9に示すようなJavaベース監視ミドルウェアDooarsの適用も検討している。

なお、Dooarsとは、監視画面をそのままのイメージで汎用ブラウザに表示できるJavaアプレットである。組み込み型WEBサーバと組み合わせることにより、リアルタイムに更新される画面をイントラネット経由で表示することができる。

5.2 マルチベンディングシステムの選択

国内の製鉄会社又は個々の製鉄所の保守に関しては、前述のように、保守サービス拠点を中心とした予備品、修理の対応を実施している。

しかし、海外での工事の場合は、予備品を顧客にあらかじめ購入願ひ、取替え等は顧客で対応するという形態を採る場合が多い。

顧客からは予備品に関しても経済的で簡単に対応できるものを要求されるケースが多く、こういった場合顧客責任を前提としたマルチベンディングシステムの採用を行っている。

ハードウェアにおいては、以下の例がある。

- (1) ヒューマンマシンインタフェースにおけるWindowsパソコンの採用
- (2) Ethernetの採用及びEthernet接続のプリンタなど市販周辺装置の採用
- (3) 市販ルータ、リピータの採用

またソフトウェアについても顧客メンテナンスが前提であり、ソースプログラムに関し、トレーニング、実習による教育を行うことはもとより、顧客がファミリアであるデータベースや市販ヒューマンマシンインタフェースシステムの採用なども実施している。

6. むすび

以上、鉄鋼プラント向け制御用計算機システムの動向、MRシリーズ、MWSシリーズによるシステム構成例、オ

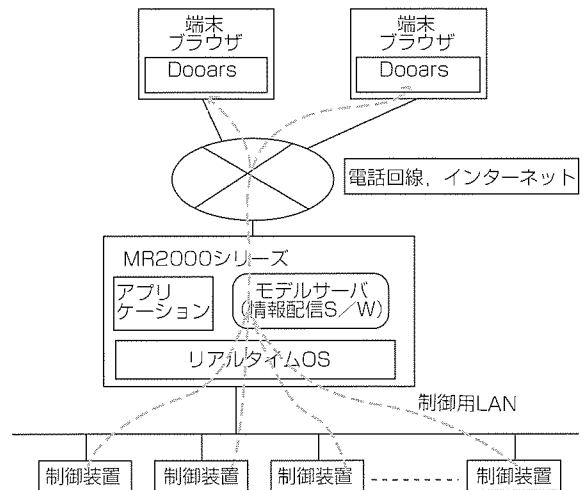


図9. Dooarsを用いたリモートでの画像共有システム

ープンソフトウェア、保守を中心に紹介した。

三菱産業用計算機システム(MELCOM350/MR3000, 2000シリーズ)は、リアルタイム制御用とオープン化指向を併せ持ったプラント制御用計算機システムとして鉄鋼プラントを始めとする工業分野に多数の実績があり、また、FAパソコンとしてMWSも鉄鋼プラントに納入され始めている。両シリーズを軸として、今後の工業分野向け情報・制御システム構築の多様化に対する最適ソリューションの提供とともに、高度な保守支援環境を実現していく所存である。

参考文献

- (1) 中川 要, 落合 寛, 平塚紀嘉, 水野秀司, 瀬名一生: 工業分野における産業用計算機システム, 三菱電機技報, 70, No.7, 708~713 (1996)
- (2) 瀬名一生, 中川 要, 平塚紀嘉: 鉄鋼プラント制御用計算機システム, 三菱電機技報, 70, No.10, 999~1006 (1996)

鉄鋼用プラントコントローラシステム

菊地原博夫* 布勢啓一*
 平山光憲*
 支田誠一*

要旨

近年、情報処理システムの標準化とオープン化の進展に伴い、鉄鋼分野における制御システムにおいても、システム構築の柔軟性及びコスト低減を目的にオープンなシステムが求められている。

制御システムに対する主な要求は高速性・リアルタイム性・高信頼性を確保することであり、このため、従来は、メーカー独自の技術を適用して要求実現を図っていた。しかしながら、近年、制御システムのオープン化への強い要求、さらに汎用技術の進展により、オープンな技術においても要求達成が可能となってきたことから、国際標準・業界標準技術製品を積極的に適用した新鉄鋼プラント用コントローラシステムを開発した。

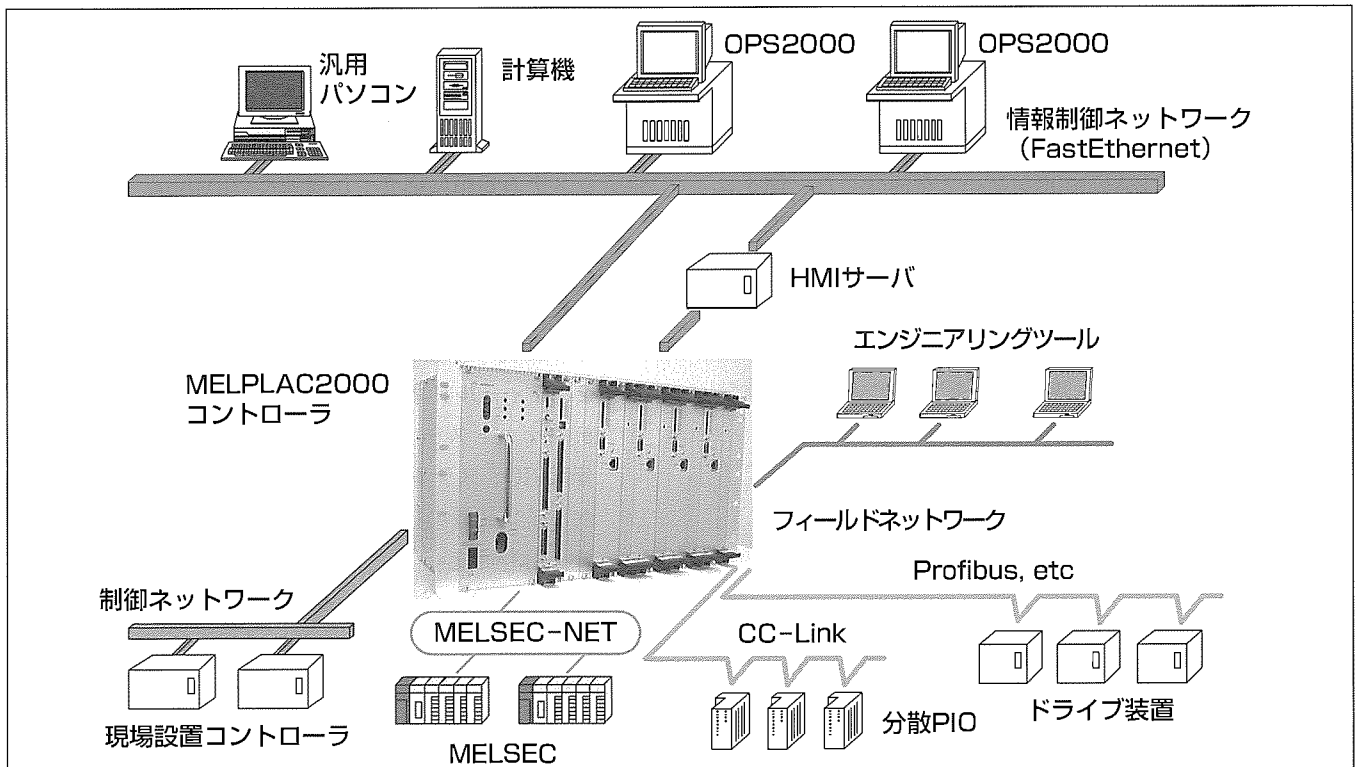
新鉄鋼プラント用コントローラシステム“MELPLAC2000シリーズ”は、このようなオープンな技術を適用したグローバルスタンダードなシステムであり、コントローラではプログラミング言語としてPOL/DDC等の既存言語に加

え国際標準規格のIEC61131-3を採用し、ネットワークにおいては上位基幹ネットワークからフィールドネットワークに至るまでオープンなネットワーク(FastEthernet[®]、CC-Link、Profibus等)を採用し、マルチベンダー指向の汎用製品の接続を可能としている。またHMI(Human Machine Interface)では、汎用GUIの適用及びOPC(OLE for Process Control)技術適用等による情報系システムとの高い親和性を実現している。

一方、既存制御システムとの接続性・連続性を保つため、既存言語のサポート、既存ネットワークへの接続を可能としている。

このコントローラシステムの適用により、今後期待される技術の進歩もいち早く取り入れることができるグローバルスタンダード化・オープン化へ対応した制御システムが提供可能となる。

(注) “Ethernet”は、米国Xerox Corp.の登録商標である。



MELPLAC2000システム

MELPLAC2000システムは、各種分野で実績のある既存プログラミング言語に加えて国際標準言語IEC61131-3をサポートするとともに、上位レベルの情報制御ネットワークから下位レベルのフィールドネットワークに至るまで、国際標準・業界標準のネットワークをサポートし、ユーザーニーズに応じたフレキシブルなシステム構築を可能としている。

1. ま え が き

従来、鉄鋼プラントの制御システムでは、電気(E)、計装(I)、計算機(C)分野において、システムの最適化を目的としてEIC統合化が行われた。また近年、情報処理システムにおけるオープン化対応の汎用機器・汎用ネットワークの技術の適用によるダウンサイジング化の進展から、制御システムに対するオープンなネットワークを基にしたEIC統合システムの構築が望まれている。新鉄鋼プラント用コントローラシステム“MELPLAC2000シリーズ”は、オープンなネットワーク上でプロセス制御用計算機／プラント制御用コントローラ／ヒューマンマシンインタフェース(OPS2000)の統合化を実現している。また、基本エンジニアリングツール“MET”(Multi Engineering Terminal)、統合エンジニアリングツール“MELSUCSES”(Mitsubishi Electric Schematically and Connected SE System)などの専用高位言語環境と国際標準言語IEC61131-3とをWindows^(注1)環境で統合し、エンジニアリング環境のオープン化を実現している。

本稿では、新鉄鋼プラント用コントローラシステムMELPLAC2000シリーズの特長と制御システムの構築手法、及び鉄鋼分野におけるグローバルスタンダード・オープン化への対応について述べる。

2. 新プラント制御用コントローラシステムの特長

制御規模、制御性能において他のプロセス制御に比べて格段に高度なものを要求される鉄鋼分野の制御に適した制御システムを提供するため、新鉄鋼プラント用コントローラシステムMELPLAC2000シリーズを開発した。図1にコントローラのユニット内カード構成を示す。以下、MELPLAC2000シリーズの特長を述べる。

2.1 高性能コントローラMELPLAC2000

2.1.1 高速／大容量化による制御性能向上

- (1) 高性能プロセッサ＋専用プロセッサによる高速演算(ビット演算0.09 μ s)実行が可能

(注1) “Windows”は、Microsoft Corp.の登録商標である。

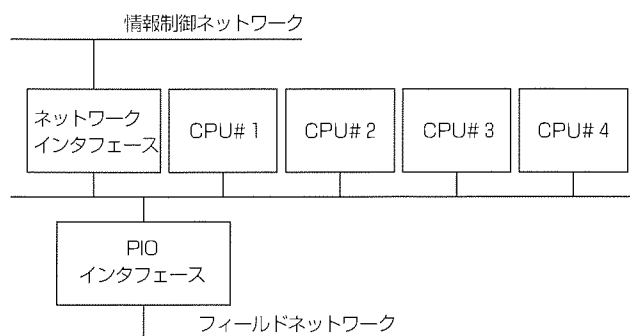


図1. コントローラのユニット内カード構成

- (2) 電気制御96K step(POL言語)、計装320ループを実行可能
- (3) マルチCPU(最大4CPU)構成によって高速で最適な負荷分散、CPU能力増強が可能

2.1.2 構造化されたソフトウェア構成

- (1) ソフトウェアのカプセル化／モジュール化によるトップダウン設計、部品化再利用の容易化
- (2) カプセル、モジュール単位のオンラインメンテナンスが可能
- (3) 従来機種からのソフトウェアを継承(POL言語)

2.1.3 高信頼性・稼働率向上

- (1) カードごと、ステーションごとの自己診断機能の充実
- (2) 待機冗長化方式によるCPUの二重化構成が可能

2.1.4 保守容易性

- (1) RAS情報格納用にバックアップ付きメモリを採用しメンテナンスフリーを実現
- (2) メンテナンスツールでは電源を含むコントローラ全体の故障部位の表示を行い、CPUカード内部のRAS情報(RASテーブル／システムトレーステーブル)によってカード単位の保守が可能
- (3) 公衆回線経由によって遠隔地でのリモートメンテナンスが可能となり保守性が向上

2.2 ネットワーク

2.2.1 オープン制御ネットワーク(FastEthernet)

- (1) 汎用性の高いネットワークとして普及しているEthernetを制御ネットワークに適用
- (2) 通信プロトコルにTCP/IPを採用し、汎用機器との接続が可能
- (3) システム規模に応じて伝送速度(10Mbps/100Mbps/1Gbps)の選択が可能
- (4) SNMP(Simple Network Management Protocol)の採用によってスイッチングHubを含めたネットワーク全体の監視／管理が可能

2.2.2 フィールドネットワーク

- (1) デファクトスタンダードであるCC-Linkを採用した分散PIOシステムの構築が可能
- (2) ドライブ装置の接続には海外で普及しているProfibusの採用も可能

2.3 ヒューマンマシンインタフェース(OPS2000)

2.3.1 EIC統合ヒューマンマシンインタフェース

EIC統合ヒューマンマシンインタフェースによってネットワーク上の計算機やコントローラ等の情報の集中監視・操作が可能である。

2.3.2 オープン分散ヒューマンマシンインタフェース

- (1) データ表示とデータの収集／処理を分散させたC/S(Client/Server)型によって柔軟なシステム構成が可能

- (2) OPC適用による制御系と情報系のデータ共有や連携が可能
- (3) 汎用GUIである“iFIX”^(注2)の適用によってオープンな監視機能が実現可能

2.4 エンジニアリング機能の充実

- (1) プログラミング／設定／保守等に使用するMETに加え、統合エンジニアリングツールとしてMELSUCSESを準備
- (2) 基本言語POL／DDCに加え、電気／計装高位言語及び国際標準言語IEC61131-3の実行が可能

3. ネットワークの特長

MELPLAC2000システムは情報制御ネットワークにEthernet系ネットワークを適用し、通信プロトコルにはTCP/IPを適用して汎用機器との通信を容易にしている。ネットワーク管理にはSNMPを採用し、様々なベンダーの機器が接続される情報制御ネットワークの統一的管理を可能としている。

フィールドネットワークでは、業界標準フィールドバスのCC-LinkとProfibusを採用し、他のベンダーを含めた数多くのフィールド機器との接続を可能としている。

3.1 情報制御ネットワーク

MELPLAC2000システムは、Ethernet系ネットワークを適用することにより、従来分離されていた制御ネットワークと情報ネットワークとの融合を果たしている。

(1) Ethernet系ネットワーク

現在、汎用ネットワークはEthernet系ネットワークに収束し、従来からの汎用機器と接続性を保ちながら容易に広帯域化が図れるコストパフォーマンスの良いネットワークシステムとして一般に普及している。

このネットワークを適用することにより、MELPLAC2000システムは、システム規模に応じたネットワークの帯域幅を選択可能(10Mbps/100Mbps/1Gbps)としている。また、広帯域のスイッチングHubをシステム内に最適配置することで、トラフィックの低減を図り、生産管理情報と制御情報のネットワーク共存を実現している。MELPLAC2000の情報制御ネットワークの仕様を表1に示す。

(2) TCP/IP通信

MELPLAC2000システムは、情報制御ネットワーク上のすべての通信をインターネットの標準プロトコルであるTCP/UDP/IPで実現している。これによって汎用機器との通信が容易となり、他のベンダーの情報機器を含めた柔軟なシステム構築が可能である。

(3) SNMP

ネットワーク管理には多くのネットワーク機器に実装さ

(注2) “iFIX”は、Intellution社の登録商標である。

れているSNMPを採用し、マルチベンダー化した情報制御ネットワークの構成管理や性能管理を汎用のSNMPマネージャーで一元管理可能としている。図2にネットワーク管理の概念を示す。

3.2 フィールドネットワーク

MELPLAC2000システムは、オープンなフィールドネットワークとの接続性を可能としている。現在、CC-LinkとProfibusとのインタフェースをラインアップしており、充実していく計画である。

(1) CC-Link

CC-Linkは、当社がオープン化を進めているフィールドネットワークである。MELPLAC2000システムでは、主に分散PIOの接続や現場置きオペレータユニットの接続に用いる。表2にCC-Linkの主な仕様を示す。

(2) Profibus

Profibusは、国際PROFIBUS協会がオープン化を進めているフィールドネットワークである。MELPLAC2000シ

表1. 情報制御ネットワークの仕様

| ネットワークトポロジー | スター型(バス型) |
|-----------------------|--|
| 伝送媒体 | ●光ケーブル(GI/MMF 62.5/125μm) ●ツイストペアケーブル(Cat.5 UTP)ほか |
| 物理層仕様 | IEEE802.3uほか |
| バス最長距離 (スイッチ-ノード間) | ●10BASE-T : 100m ●10BASE-FL : 2,000m ●100BASE-TX : 100m ●100BASE-FL : 2,000m(全二重) など |
| 通信プロトコル | TCP/IP, UDP/IP |
| 管理プロトコル | SNMP |

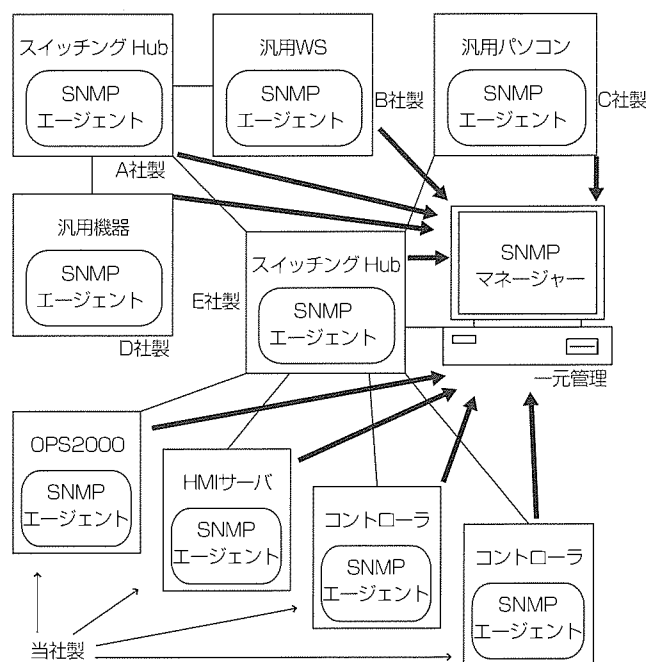


図2. ネットワーク管理の概念

システムでは、主にドライブ装置との接続に用いる。

4. ヒューマンマシンインタフェースの特長

OPS2000は、Windows上に監視機能を搭載し、オープンなネットワーク(Ethernet)によってプラント制御用コントローラと接続することができる高性能EIC統合ヒューマンマシンインタフェースである。以下にOPS2000の特長を述べる。

4.1 高性能EIC統合ヒューマンマシンインタフェース

- (1) ネットワーク上の計算機やコントローラ等の情報を集中監視できる。
- (2) アラーム監視機能、トレンド機能、計装機能などの各種監視機能を標準でサポートしている。
- (3) 階層化されたシステム監視機能によってシステムの異常箇所を容易に特定できる。

4.2 ヒューマンインタフェースのオープン化

- (1) PC/AT互換のハードウェアをベースにヒューマンマシンインタフェース機能をWindows環境(オープンプラットフォーム)に構築することにより、業界最先端技術の取り込みが容易にできる。
- (2) Ethernetインタフェース機能により、他のヒューマンマシンインタフェース、パソコン及びEWSとの情報交換が容易に可能である。
- (3) ヒューマンマシンインタフェース上ソフトウェア間のインタフェースとしてOLE(Object Linking and Embedding)、OPC及びActiveX^(注3)を採用し、各画面をActiveXコントロール化、実行環境をActiveXコンテナ化するとともに、一部の制御データインタフェースをOPC対応とすることにより、シングルウィンドウ、マルチベンダーインタフェースに対応したオープンなヒューマンマシンインタフェースを実現している。
- (4) GUIとして、世界的に実績のあるインテリユーション社のiFIXを採用している。
- (5) 規模に応じてデータ収集サーバ機能(HMIサーバ)とマンマシン機能(HMIクライアント)の分離・分散配置が可能(C/S構成)である。また、HMIクライアントには市販パソコンが使用できる。

(注3) “ActiveX”は、Microsoft Corp.の登録商標である。

表2. CC-Linkの主な仕様

| | |
|------------------|-------------------------------------|
| ネットワークプロトコル | バス型(分岐可) |
| 伝送速度 | 10Mbps |
| 通信方式 | ポーリング方式 |
| 総ノード数 | 64 |
| 伝送媒体 (最大伝送距離) | ● 光ケーブル(2 km) ● ツイストペアケーブル(100m) |
| 物理層仕様 | RS-485 |

- (6) CNSエンジニアリング、上位エンジニアリングとの連携によってソフトウェア生産性が向上する。

4.3 機能概要

図3にOPS2000のソフトウェア構成を示す。HMIサーバ側にOPCサーバ機能を搭載し、HMIクライアントとの情報交換を行う。また、このOPCサーバ機能により、OPCサーバとアクセス可能な汎用機器とのインタフェースを可能としている。また、HMIクライアント機能とHMIサーバ機能を1台のHMIに搭載することも可能となっている。

次にOPS2000の機能について述べる。表3にOPS2000の機能概要を示す。プラント一括監視画面など制御対象ごとに異なる画面を製作する場合には、ユーザー画面機能を使用する。ユーザー画面機能には世界的に実績のあるiFIXを採用し、ユーザーに親しみやすいものとしている。この機能は、パソコンの作画ツールのイメージで各図形を画面上に配置後、可変画部分に可変内容を定義することにより、

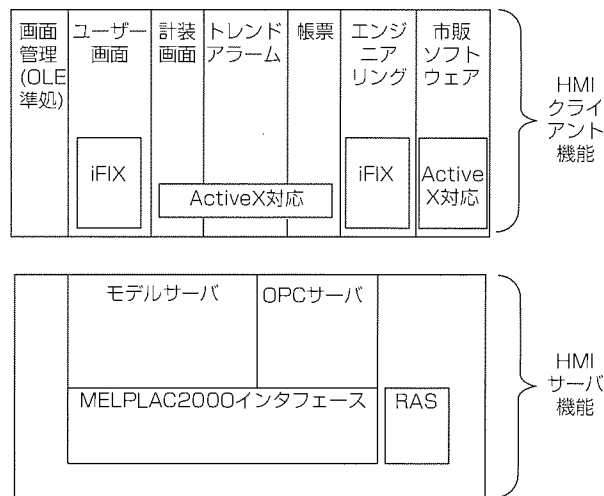


図3. OPS2000のソフトウェア構成

表3. OPS2000の機能概要

| | |
|----------|--|
| ユーザー画面機能 | iFIX(インテリユーション社製 GUI) (登録枚数: 1,500枚) |
| 計装機能 | 計装タグオーバービュー画面 計装タグパネル画面 パラメータチューニング画面 札掛け画面 |
| トレンド機能 | リアルタイム/ヒストリカル画面 |
| イベント機能 | アラーム画面・アラームサマリーウィンドウ ガイダンス画面・ガイダンスサマリーウィンドウ イベント/操作履歴画面(10,000点登録) ユーザーアラーム/ガイダンス発生時の画面展開 |
| セキュリティ機能 | オペコングループによる入力制限 動作モードによる入力制限 パスワードによる動作モード切換え制限 パスワードによる札掛け解除制限 |

ユーザー画面を製作することが可能である。また、その他の画面表示フォーマットを固定できるものに対しては、表形式ビルダによって各項目の定義を行うだけで監視制御画面を製作することが可能となっている。

図4にユーザー画面の一例を示す。ユーザー画面はiFIXによって作成されるが、画面内のボタンからユーザー画面以外の画面(計装、トレンド、アラーム等)を呼び出すことも可能である。

図5に、計装機能の例として、計器を並べたイメージで表示するコントロールパネル画面の例を示す。

図6に、イベント機能の例として、アラーム画面の表示例を示す。この画面には、最新の512点のアラームが表示される。アラームとしては、MELPLAC2000システムのRAS機能によって検出されるシステムアラーム、各計装機能で定義するリミット値異常等で発生するタグアラーム、及びMELPLAC2000のアプリケーションプログラムで生成可能なプロセスアラーム等、多彩なアラームを扱うことが可能である。また、プロセスアラームの発生時に、ある画面への展開や、ボイスアナンシェーション出力を指定することも可能となっている。

5. エンジニアリングツールの特長

エンジニアリング環境は、基本言語POL/DDC及び

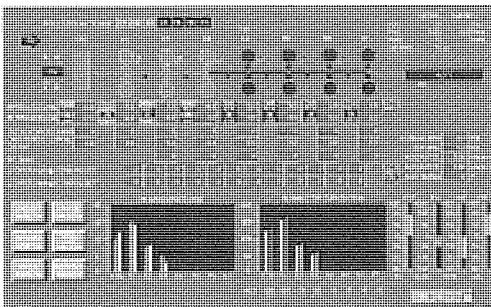


図4. ユーザー画面の例

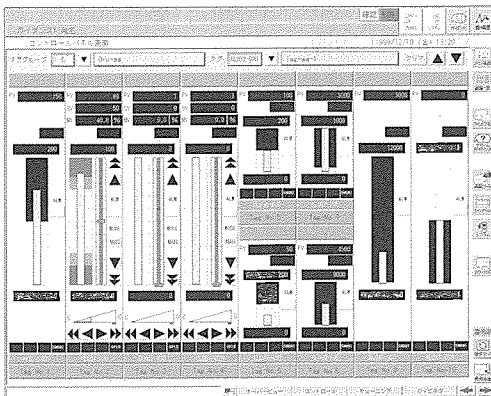


図5. コントロールパネル画面

MELSUCSES等の専用高位言語環境、国際標準言語IEC61131-3とハードウェア設定・保守等の環境をWindows環境で統合し、オープンな統合環境を実現している。

5.1 エンジニアリングツールの構成と特長

当社のエンジニアリングツールは、Windows上のソフトウェアとして構築している。図7に統合エンジニアリングツールの構成を示す。また、以下に代表的な特長を示す。

(1) 統合エンジニアリングサポート

電機品データベースによる各種プラント情報の一元管理、目的別高位言語を用いた制御方案ベースの記述からのソフトウェア自動生成、ソフトウェア及び各種設定情報の転送、モニタリングなどを行うことができる。特にソフトウェアのビジュアル化、論理的文法チェック機能、リソースの自動割り付け等をサポートすることによって効率的なエンジニアリングを行うことができる。

(2) リモートメンテナンス機能

LAN経由や公衆回線経由でエンジニアリングツールを制御システムと接続することにより、当社の保守拠点からユーザープラントの遠隔エンジニアリング/保守支援を可

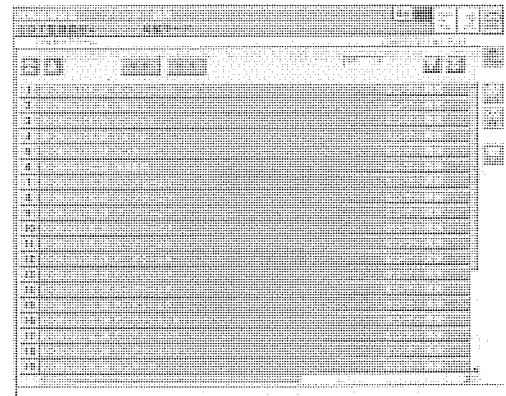


図6. アラーム画面

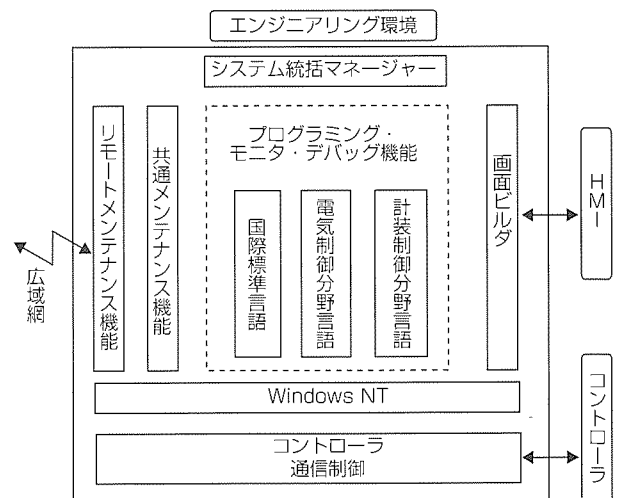


図7. エンジニアリングツールの機能構成

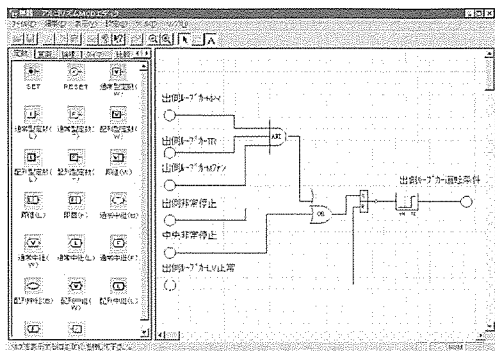


図8. MCDのプログラミング画面例(アルゴリズムMCD)

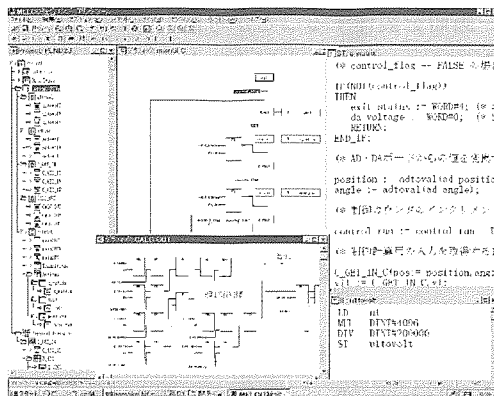


図10. 国際標準言語プログラミング画面例

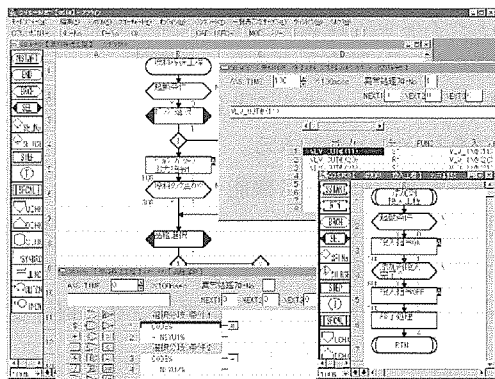


図9. 計装高位言語プログラムモニタ画面例

能とした。

5.2 プログラミング言語の特長

プログラミング言語としては、基本言語POL/DDC等に加えて、鉄鋼プラント制御用に最適化された高位言語レパートリーを準備しソフトウェア設計製作、調整保守業務の効率化を図っている。

(1) 電気制御分野言語(電気高位言語)

主に電気制御向けとして、アルゴリズム、シーケンス、データフローの各種MCD(Macro Control Diagram)を専用シンボルで配置・結線することで、制御方案ベースでのプログラミングが可能である。プログラム画面例を図8に示す。

(2) 計装制御分野言語(計装高位言語)

主に計装分野プロセス制御向けとして、ILFC(Instrumentation Loop Function Chart)とIBFC(Instrumenta-

tion Block Function Chart)の計装ループ図ベースによるフィードバック制御、ISFC(Instrumentation Sequence Function Chart)による工程遷移型制御を、方案ベースでプログラミング可能である。プログラム画面例を図9に示す。

(3) 国際標準言語

海外において主にFAシステムを中心に普及している国際規格IEC61131-3に準拠した言語をオプションで準備した。IL(Instruction List)/ST(Statistic Text)/SFC(Sequential Function Chart)/FBD(Function Block Diagram)/LD(Ladder Diagram)の5種類の言語が使用可能である。プログラミング例を図10に示す。

6. むすび

以上、鉄鋼分野において高度な制御システムを構築するためにプロセス制御と情報制御の統合化を容易にしたオープンなEIC統合システムを紹介した。これからはインターネットなどの通信環境の高度化を進め保守性のより一層の向上を目指す方向にあり、当社もユーザーの使いやすいシステム構築を行うよう努力していく所存である。

参考文献

(1) 岡村 繁, 江上憲位, 菊地原博夫: オープン分散計装制御システムの現状と展望, 三菱電機技報, 73, No. 6, 392~396 (1999)

熱間圧延における品質制御の異常診断システム

若宮宣範*
新田勤子*

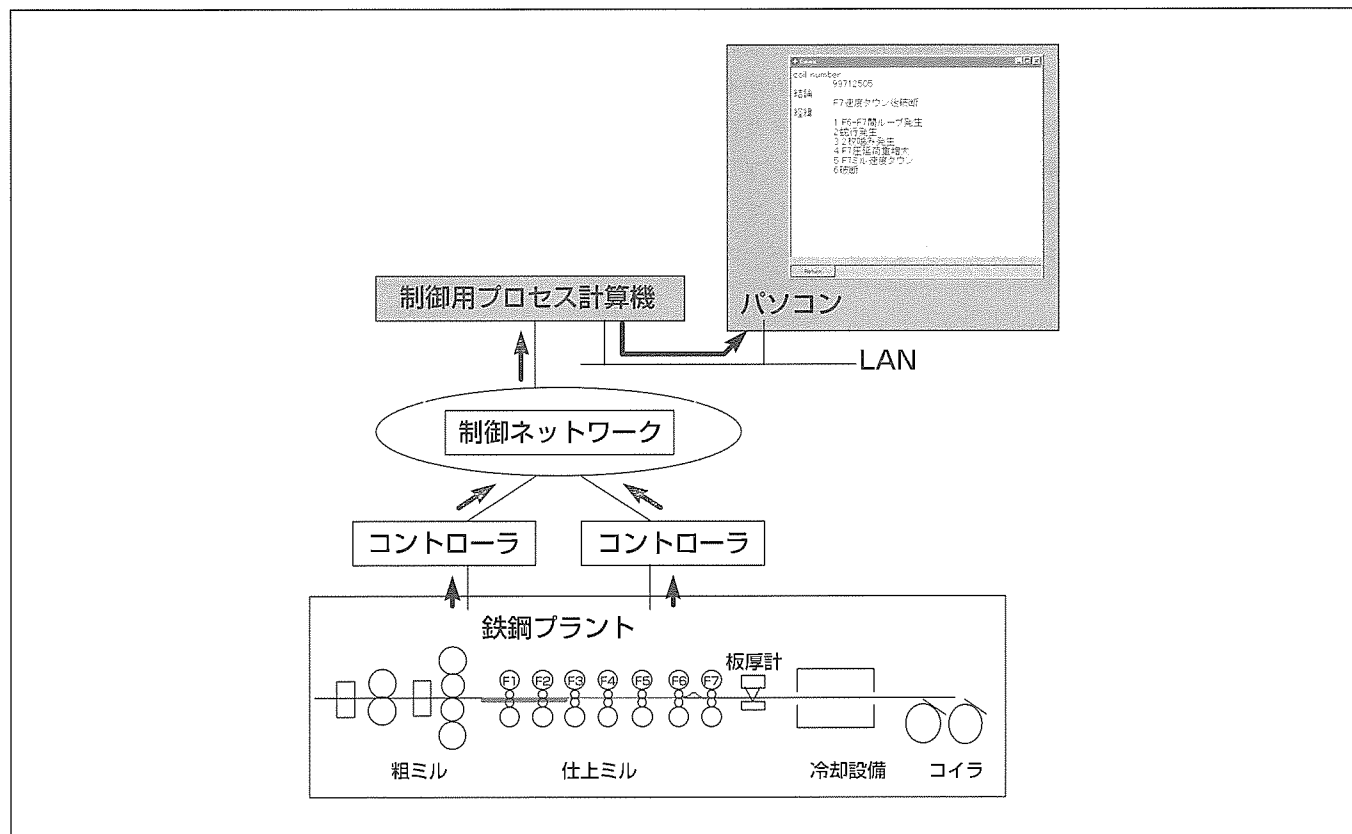
要旨

鉄鋼製造業では、製品品質向上化の要求が年々高まってきており、多品種生産への傾向とあいまって、より高精度な品質制御システムが必要とされている。

鉄鋼の生産は計算機・電機システムによる高度な制御によって安定的に操業され、その精度許容値(保証値)が確保される。しかし、制御システムの更新直後やシステムの安定的な稼働が確立した後も、まれに操業の不安定や製品の不良が発生することがある。それらの場合には、具体的にシステムの不良かオペレータの操作ミスかを判断し、再発防止のために今後の対策をとる必要がある。従来、このような異常診断は、人手に負う部分が多かった。高精度な品質制御システムによって精度の高い製品の生産を維持

するためには、オペレータが瞬時に判断できない制御異常の原因を推定することができる支援システムが不可欠である。このシステムは、制御状態の実績データ及び制御システムにおける計算過程などを時々刻々にサンプリング収集した製品内の詳細データをベースデータとして、制御・物理モデルを用いたシミュレータ及びルールベースを適用して構築される。

鉄鋼プラントにおいては最小限のオペレータによる操業が要求されており、大容量データハンドリングシステムを利用した自動的な制御状態の監視・診断の高度化の開発について三菱電機の取組を紹介する。



熱間圧延における品質制御の異常診断支援システムの概念図

熱間圧延プラントでの圧延のための設定データや圧延実績データがネットワーク経由で接続されたパソコンに蓄積される。操業不安定・製品不良が発生した場合には、それらのデータを基に異常発生原因の推定を行う。

1. ま え が き

鉄鋼製造業では、製品品質向上化の要求が年々高まってきたおり、多品種生産への傾向とあいまって、より高精度な品質制御システムが必要とされている。

鉄鋼の生産は計算機・電機システムによる高度な制御によって安定的に操業され、その精度許容値(保証値)が確保される。しかし、制御システムの更新直後やシステムの安定な稼働後にも、まれに操業の不安定や製品の不良が発生することがある。これらは、大きく分類すると、製品の材料、操業方法、圧延設備、制御システムなどが原因で発生する。操業不安定や製品不良が発生した場合には、具体的にシステムの不良かオペレータの操作ミスか等を判断し、再発防止のために今後の対策をとる必要がある。

従来、このような異常診断を行うには、まず製品単位で計算機に収集蓄積されている実績平均データを比較したり、実績平均データを用いて簡単なシミュレーション検証を行うなどの方法を取ってきた。しかし、製品内における更に詳細な分析を行うには、主にオンラインの制御状態のアナログ信号をグラフ出力化したアナログチャートを人が読み取って判断することが必要で、詳細な分析は人手に負う部分が多く、実績管理が困難な面もあった。

高精度な品質制御システムによって精度の高い製品の生産を維持するためには、オペレータが瞬時に判断できない制御異常の原因を推定することができる支援システムが不可欠である。このシステムは、制御状態の実績データ及び制御システムにおける計算過程などを時々刻々にサンプリング収集した製品内の詳細データをベースデータとして、制御・物理モデルを用いたシミュレータ及びルールベースを適用して構築される。

本稿では、このような大容量データハンドリングシステムを利用した鉄鋼プラントの品質制御における異常診断支援システムについて、異常診断システムのコンセプトを説明し、その適用事例の一例として熱間圧延ラインでのミスロール原因の推定例を紹介する。

2. 熱間仕上圧延の概要⁽¹⁾

図1に、熱間圧延プラントにおける仕上圧延機と品質制

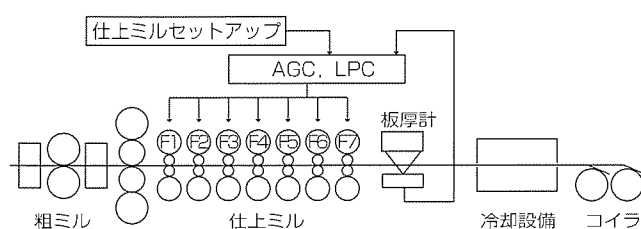


図1. 熱間圧延プラントにおける仕上圧延機と品質制御機能の概要

御機能の概要を示す。

粗圧延機によって所定の板厚に圧延された熱延鋼板は、続く仕上圧延機によって製品の板厚まで圧延される。その後、冷却設備を経て、最終的にコイラに巻き取られる。

板厚制御は、制御用プロセス計算機による仕上ミルセットアップ(FSU)機能と、プラントコントローラによるAGC(Automatic Gauge Control)機能、ルーバ制御(LPC)機能で構成される。FSUによって所要の製品板厚を確保するように、圧延機の圧下位置と通板速度などの初期設定がなされる。AGCはその目標板厚を守るように圧下位置を制御し、LPCはスタンド間の張力を一定にするように圧延設備を制御する。

3. 異常診断支援システムの構成⁽²⁾

3.1 ハードウェア構成

図2に異常診断システムのハードウェア構成を示す。このシステムは、オンラインの制御用プロセス計算機と、Ethernet^(注1)などのLAN回線を通じてネットワーク接続されたパソコンの上に構築される。

この異常診断システムのデータベースは、コイルナンバーやコイルサイズなどの製品情報データと、その製品に対するオンライン制御のアクチュエータ、センサからサンプリング収集された実績値などの制御実績データで構成される。これらのデータは、オンライン制御用プロセス計算機に保存されている大容量実績データファイルから、随時LAN回線を介して診断用パソコンに高速に転送される。

(注1) “Ethernet”は、米国Xerox Corp.の商標である。

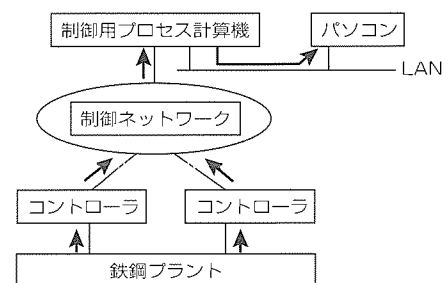


図2. ハードウェア構成

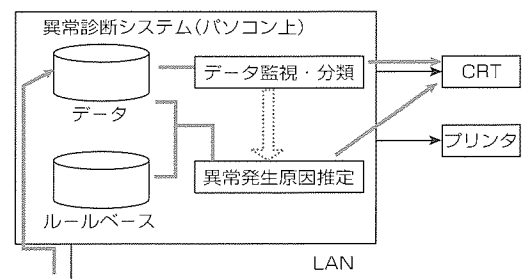


図3. ソフトウェア構成

3.2 ソフトウェア機能構成

図3に異常診断システムのソフトウェア機能構成を示す。異常診断システムは、データ監視・分類機能と異常原因推定機能で構成される。

(1) データ監視・分類機能

データ監視・分類機能は、プラントコントローラ・制御用プロセス計算機の設定データ、サンプリング収集された実績データ等のプラントデータを収集し、保管する。それらのデータを用いて何らかの制御異常が発生していないかを監視し、その状態を画面に表示する。また、問題が発生した場合、オペレータに対してガイダンスを与えとともに、異常発生原因推定システムを起動する。

(2) 異常発生原因推定

異常原因推定機能は、異常発生時にのみ起動され、制御異常の診断ルールベースを適用した異常原因の推定を行う。このとき、オンライン制御系と同等の制御モデル計算を実行することによってそのときの制御状態を再現し、実績と比較分析することで、制御上の問題個所を推定することができる。

4. 適用事例

異常診断システムの一例として、熱間圧延ラインにおける仕上圧延機での板先端通板時の異常(ミスロール)原因推定システムについて述べる。

このシステムは、大きく分けて、

- 発生状況分析機能
- 原因(発生トリガー)推定機能

で構成される。

4.1 発生状況分析機能

4.1.1 機能の概要

仕上圧延機でのミスロールの最終の形は、スタンド間の過張力による板破断、(張力が緩んだ場合に生じる)圧延機の2枚か(噛)み等の結果としての荷重増大による圧延機の色度ダウン(オペレータによる非常停止も含む。)に分類される。それゆえ、異常状態は基本的に張力及び圧延速度を監視すれば認識することが可能であるが、今回のシステムでは、板破断及び速度ダウンがどのような経緯をたどって生じてきたかを、収集された実績データを基にして順を追って分析し、推定する。

(1) まず、前段階として、異常がどのスタンド又はスタンド間で生じたかを圧延速度、圧延荷重、及びスタンド間ルーパ高さを監視チェックすることによって推定する。これにより、次のステップでのデータ分析量を削減する。

(2) 発生スタンドが特定された後、該当するスタンド上流スタンドに関して圧延開始以降の各収集実績データを分析し、圧延開始後からどのような状態を経過したかを判断する。

通常、この状況は瞬時に起こるため、チャート分析等の人がチェックするには限界がある。今回のシステムでは、これをサンプリング収集された実績データの時間チェックを行うことによって可能としている。

仕上圧延機での板先端通板時の異常発生フローとしては図4に示す状態遷移の関連があり、この関連フローと上記診断のためのルールベースとして各々の状態遷移の条件が登録されており、分析チェックはこのルールベースに基づいて実施される。

図5、図6に異常例の実績収集データを示す。図5中にはF6、F7のWSとDSの圧延荷重が示されている。また図6にはF6-F7間ルーパ角度、F6、F7圧延速度(指令、

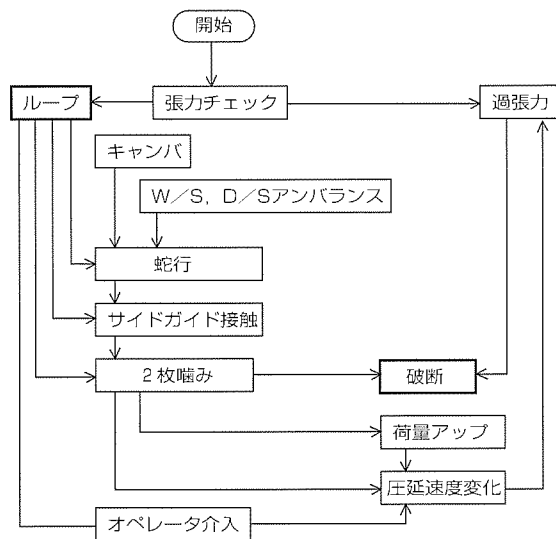


図4. 先端通板時の状態遷移フロー(一部)

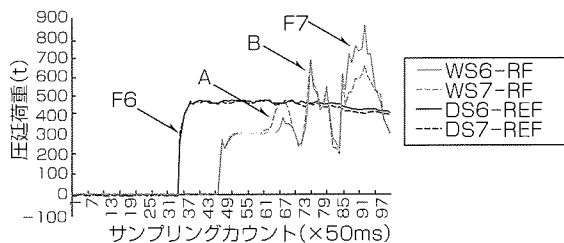


図5. 圧延実績データ(1)

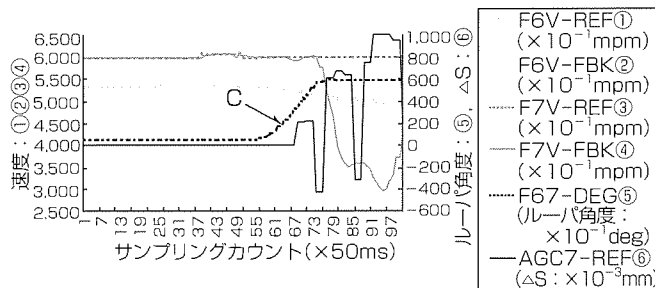


図6. 圧延実績データ(2)

フィードバック), AGC制御出力を示している。この例はF7スタンドでの2枚噛みが発生したチャート例である。

4.1.2 推論結果

以下のように推論された。

- (1) ルーパ角度は一定時間経過後も一定値にコントロールされず, そのまま最大値まで上昇した。このことより, 圧延開始後からループ状態であったと判断された。
- (2) F7スタンドの圧延荷重は圧延開始直後は通常状態であったが, AポイントからWS, DSの荷重差が発生し, それが時間とともに増大した。

この結果, 蛇行を始めたかと推定された。

- (3) Bポイントから荷重が極端に大きくなり(約1.5倍), かつ, 図5のF6スタンドの荷重には変化がなく, ループ状態から蛇行状態(Cポイント)で, この状態で2枚噛みが発生したと推測される。

- (4) その後, F7スタンドの荷重増大に伴い, 圧延トルクが上昇しモータのトルクリミットにかかり, F7速度が低下し, 板が破断した。

このように, 従来はチャートの分析を人が実施していたのに対し, 大幅な時間短縮が可能になっている。

推論の結論は図7のように示される。

4.2 原因推定

4.1節の状況分析でミスロールの発生した圧延開始からループ状態にあったため発生したことが判明したが, 真の原因はループを生じさせた操作はどの機能(又はオペレータ)が行ったかを推定する必要がある。

ループ発生要因は主に圧下位置及び圧延速度にあり, これにかかわる機能としては以下の4機能がある。

- (1) 制御系(AGC/ルーパ)
- (2) オペレータ動作(介入)
- (3) 設備異常
- (4) セットアップ異常

この原因究明のための基本則はスタンド間のマスフローであり, (1)~(3)に関して各々の操作量がセットアップ時の設定マスフローに及ぼす影響を考慮する。その結果, セットアップに対してマスフローに及ぼす影響が許容範囲(しきい値)を超えて最も大きい機能が基本的な原因と判断される。すべての操作量が許容範囲(しきい値以内)であれば, セットアップ計算設定の不良と判断される。

セットアップ異常の場合は, さらに, セットアップ時の各スタンドの予測荷重と実績荷重との比較, 及び実績値マスフロー演算結果から, 荷重モデルの学習不良か, 温度予測不良(又は入側温度)か, 先進率モデル不良か, が判断される。

この判断部分にルールベースが適用される。

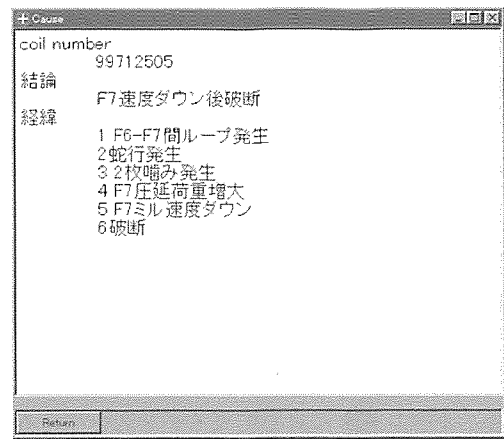


図7. 診断結果画面(例)

図5, 図6の場合は, 制御系やオペレータ介入等の不良ではなく, セットアップ不良と判断された。

また, セットアップ不良の原因は, 予測荷重と実績荷重の比較からF1~F6の予測荷重大, F7のみ小さいことからF6出側板厚アップ大, F7出側板厚アップが小さいことからF6-F7間でループ発生があったことが判明した。また, この荷重差の原因は, 仕上入側温度が下限値を切っていたために生じ, なおかつF6-F7間で一部変態を生じていたことが判明した。

5. むすび

近年の計算機記憶容量の大容量化とネットワーク機能の高度化によって, 本稿で述べたような熱間圧延制御における異常診断システムの構築が可能となった。現在プロトタイプによる評価中であり, 今後継続してシステムのレベルアップに努め, オンラインに適用できるよう, ノウハウ蓄積・改良を実施していく予定である。

鉄鋼プラントにおいては最小限のオペレータによる操業が要求されており, 自動的な制御状態の監視・診断の高度化の開発は今後も極めて重要であると考えられる。

今後, 制御モデルの精度向上, 原因推定のノウハウの収集と精練化を行い, 異常発生原因を直接制御に反映する自動調整技術の確立が最終目的である。

参考文献

- (1) Wakamiya, Y., Nitta, I., Yano, K., Itoh, T., Matsuda, H.: The Diagnostic System for Automatic Gauge Control in Hot Strip Mill, IFAC MMM'98 (1998)
- (2) 下田直樹, 若宮宣範, 鶴田 誠, 久保直博, 嶋田淳: 鉄鋼プラント用制御モデル支援解析システム, 三菱電機技報, 70, No.10, 1011~1015 (1996)

鉄鋼プラント用溶接機と誘導加熱装置の最近の動向

宮田淳二*
袖野恵嗣*
江口俊信*

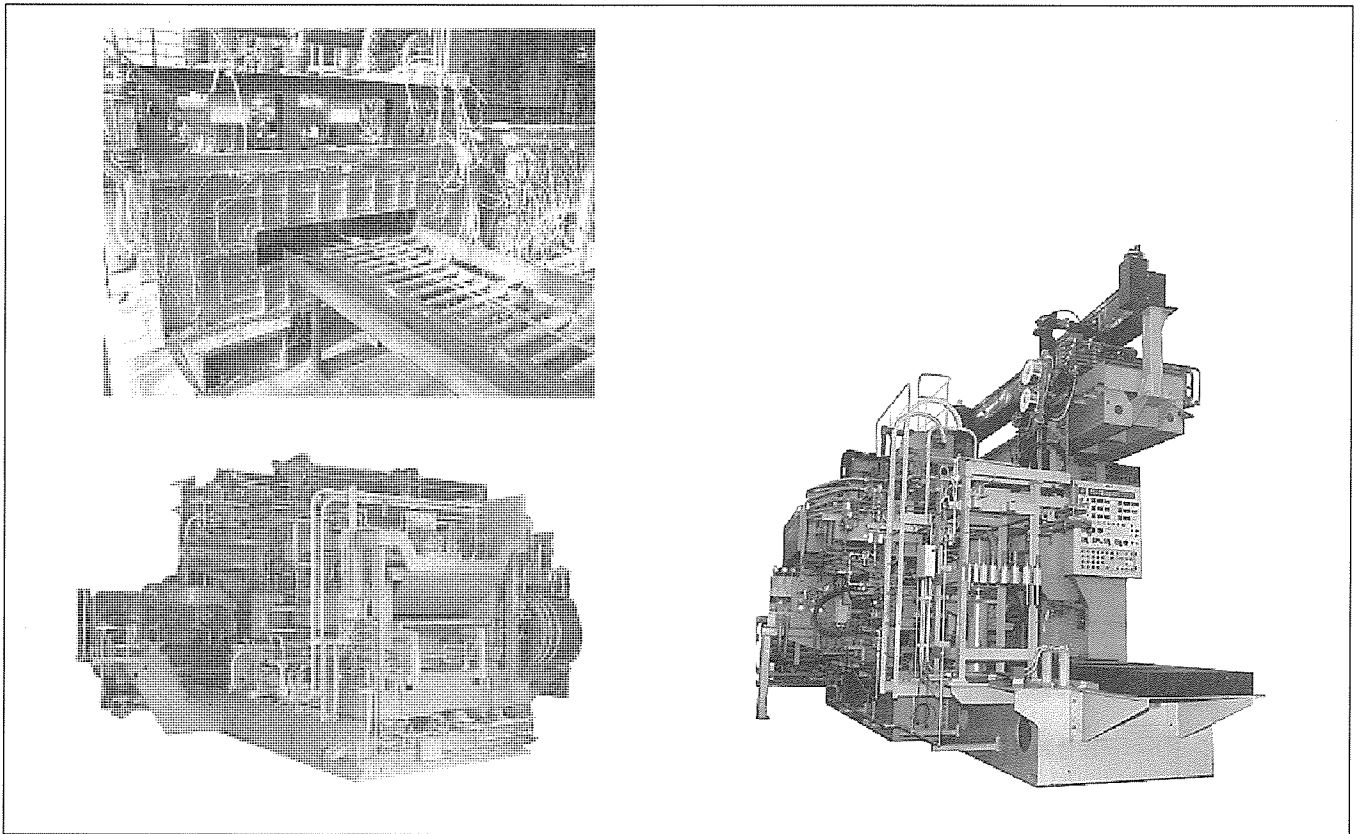
要旨

熱間連続圧延を行うために必要なシートバー接合用誘導加熱装置及びシートバー全体誘導加熱装置を開発し製品化したので紹介する。

シートバー接合用誘導加熱装置は、熱延ライン仕上げミルの入側でシートバーの先尾端を接合可能な温度まで昇温する装置である。加熱されたシートバーは、その後、押し付け合って接合される。連続圧延する場合、粗圧延後、材料の保熱と材料の流れを調整するため、コイルボックスが設けられる。しかし、巻取りによる内巻きと外巻きに相当するシートバーの先端部と後端部の温度が低下する問題があり、圧延の安定性が阻害されたり、加熱炉での加熱温度を上昇させるなどの対応が必要であった。

シートバー全体誘導加熱装置は、上記温度低下分を補償することを目的とし、仕上げミル前に設けられている。

ラインを連続化する主要な溶接機であるフラッシュ溶接機、レーザービーム溶接機、マッシュシーム溶接機について紹介する。特に、三菱電機のシヤー内蔵式フラッシュ溶接機は、酸洗ライン、圧延ラインの連続化に多用されている。その理由は、①切断・溶接・トリミングを同一位置で行うためストリップを接続するためにダウンタイムが短いこと。②溶接部の周りを覆い、溶接中油を燃焼させることによって溶接部周辺の酸素を除去し酸化介在物の発生を防止することによって多くの特殊鋼を溶接できることにある。熱延材はスケールが表面に付着しているためマッシュシーム溶接機は従来使用されていなかったが、スケール対策を行った新しいマッシュシーム溶接機では熱延材の溶接が可能となった。



鉄鋼プラント用溶接機と誘導加熱装置

上段はシートバー全体誘導加熱装置縮小サイズ試験機：仕様は、コイル開口幅1,200mm×高さ210mm
下段左はシヤー内蔵式フラッシュ溶接機：仕様は、板厚1.6～6.0mm、板幅600～1,650mm、型式NMW-1000F
下段右はレーザービーム溶接機：仕様は、板厚1.0～6.0mm、レーザー発振器出力5kW、型式LBW-5S613

1. ま え が き

鉄鋼プロセスラインにおける連続化は従来の冷間プロセスのみから最近では熱間プロセスまで拡大してきており、技術的な進展は目覚ましいものがある。

三菱電機では熱間連続圧延を行うために必要なシートバー接合装置用誘導加熱装置及びシートバー全体誘導加熱装置を開発し製品化したので、その技術を紹介する。

冷間圧延工場においては、通板される材料の鋼種、板厚、ラインの種類によって適切な溶接機を選択することが重要である。最近のフラッシュ溶接機、マッシュシーム溶接機、レーザービーム溶接機の進歩と適用について紹介する。

2. 鉄鋼プラント用誘導加熱装置

2.1 熱間圧延工場への誘導加熱装置の最近の適用事例

従来、熱間圧延工場への誘導加熱装置の適用事例としては、スラブヒーター、シートバー(スラブを粗圧延した半製品)エッジヒーターがある。

通常、熱間圧延工場における仕上げ圧延工程では、シートバーを1本単位で圧延するいわゆるバッチ圧延が実施されている。このバッチ圧延では、板の先端部と尾端部が張力のない非定常状態の圧延となる。このため、製品品質の低下や歩留りの低下、又は通板性が阻害されるといった種々の問題が発生する。

このような問題を解決する手段として、仕上げミルの入側でシートバーを接合し連続して圧延を行うのが有効と考えられている。

最近熱間圧延工場においても仕上げの連続化の動きがあり、当社では、連続圧延を行うために必要なシートバー接合装置用誘導加熱装置及び連続化に伴うシートバーの先尾端の温度低下を補償するシートバー全体加熱装置を開発し製品化した。以下にその技術を紹介する。

2.2 シートバー接合装置用誘導加熱装置

2.2.1 シートバー接合装置用誘導加熱装置に必要な機能

シートバー接合装置用誘導加熱装置に必要な機能を表1に記載する。

今回は、磁束制御装置の技術について述べる。

2.2.2 磁束制御技術

誘導加熱用C型インダクタは、シートバー接合部の両側

表1. シートバー接合装置用誘導加熱装置に必要な機能

| 必要な機能 | 解決策 |
|---|--|
| 板厚20~40mm、板幅800~1,900mmのシートバーを3~5秒で接合に必要な温度に昇温する。 | ①インダクタ単機容量2600kWのC型インダクタの開発 ②インダクタを2台使用 |
| 板幅800~1,900mmのシートバーを板幅方向に均一に昇温する。 | ①磁束制御装置の設置 |

(WS/DS)に1台ずつ配置される(図1)。シートバーに流れる誘導電流の密度は、インダクタの配置及び誘導電流の特性上、接合面の中央と幅端部では必ず低下することから、昇温値において板中央部と端部は相対的に低くなる。接合面の幅方向で未昇温による未接合長が大きくなることは最悪圧延中の破断につながることから、できる限り幅方向を均一に加熱する必要がある。

誘導加熱装置とシートバー間には、元々アップセット時の目違いを防止するため、くし(櫛)刃構造の目違い防止板が組み込まれている(図2)。この櫛刃間のすきまに、シートバーへの磁束を制御する目的で、磁束制御コイルを配置することとした(図3)。構造は、けい(珪)素鋼に銅コイルを巻き、モールドで固めたものである。この磁束制御コイルをONすると、加熱コイルの主磁束に対する反発磁束が発生し、シートバーへ向かう磁束を弱めることが可能となる。板幅によって磁束制御コイルのON/OFF箇所を変更し、板中央及び端部の磁束を相対的に強めることで板幅方向均一加熱を実現した。この制御を使用した場合のシートバー接合面の昇温速度比率を図4に示す。

2.3 シートバー全体誘導加熱装置

2.3.1 シートバー全体誘導加熱装置設置の目的

連続圧延する場合、粗圧延後、材料の保熱と材料の流れを調整するため、コイルボックス(シートバーをいったん巻き取り、送り出す装置)を設けている。しかし巻き取りに

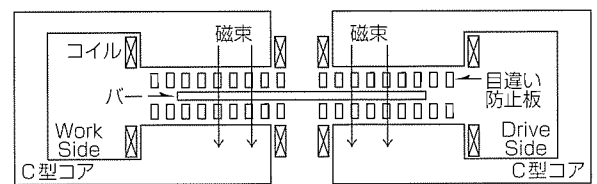


図1. 誘導加熱用C型インダクタ

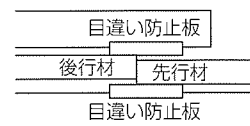


図2. 目違い防止板

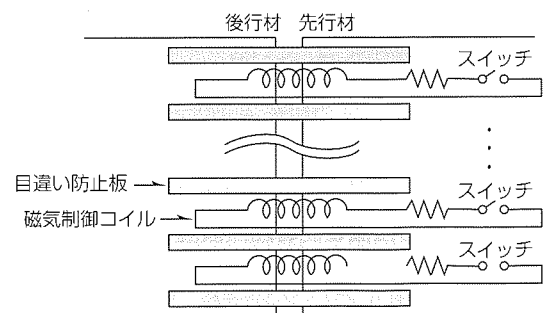


図3. 磁束制御コイル

よる内巻きと外巻きに相当するシートバーの先端部と後端部の温度低下は避けられず、圧延の安定性が阻害されたり、加熱炉での加熱温度を上昇させるなどの対応が必要であった。シートバー全体誘導加熱装置は、上記温度低下分を補償するために、仕上げミル前に設けたものである。

2.3.2 シートバー全体誘導加熱装置に必要な機能

シートバー全体誘導加熱装置に必要な機能を表2に示す。

2.3.3 ハイパワーインダクタの開発

1インダクタ/テーブルローラ間で8,600kW投入可能なインダクタの製作は当社が過去に製作したインダクタの実績値を大幅に超えており、実績の単なる延長線上での製作は困難である。そのため、最新の磁界解析技術を駆使するとともに、各パーツの製作限界を入念に洗い出し、その結果を実機の縮小サイズ試験機を使って検証して実機を製作した。特にポイントとなったのは1万アンペア近くを通電するコイル銅管の過加熱対策であったが、コイル形状や配置等を解析によって最適化し試験機(図5)によって検証したところ、設計どおり銅管表面局所最大で100℃以内に収めることができ、コイルの過加熱を防止することが図られ、信頼性の高い製品の設計に結び付けることができた。

2.3.4 テーブルローラスパーク対策

テーブルローラ間に8,600kWのインダクタを設置するので、当然インダクタから発生する漏れ磁束も大きくなる。

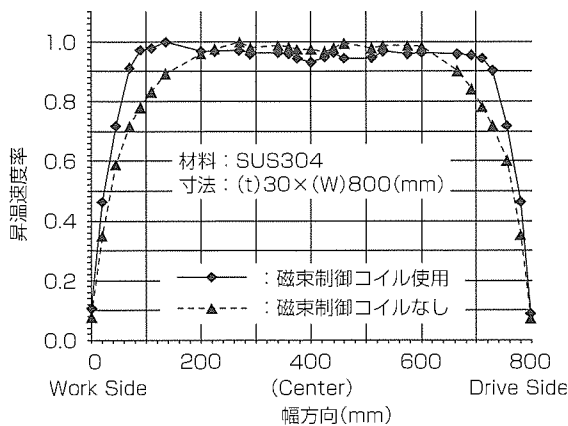


図4. 接合面幅方向昇温速度比率

表2. シートバー全体誘導加熱装置に必要な機能

| 必要な機能 | 解決策 |
|--|------------------------------------|
| 限られたスペースの中で多大の電力が投入できる。 | インダクタ長1,000mmで8,600kW投入できるインダクタの開発 |
| インダクタ外部への磁束の漏れが少なく、テーブルローラとシートバーとの接触面でスパークが発生しないようにする。また近接の構造物を過熱しないようにする。 | インダクタ外部に磁束が漏れないインダクタ構造の確立 |
| シートバー曲がりによるインダクタコイル内断熱板の接触による破損を防止する。 | インダクタのコイル内に発熱の少ないガイドレールを設置 |

これにより、周囲構造物の過加熱、特にテーブルローラへの漏れ磁束からシートバーとの接触面でアークが発生しシートバーとテーブルローラにスパークこん(痕)が残ることが懸念される。この対応のため、コイル開口部入出両面にシールド板及び鉄心を主磁束を極力減じさせない構成で配置した。図6にスパーク確認試験の状況、図7にシートバ

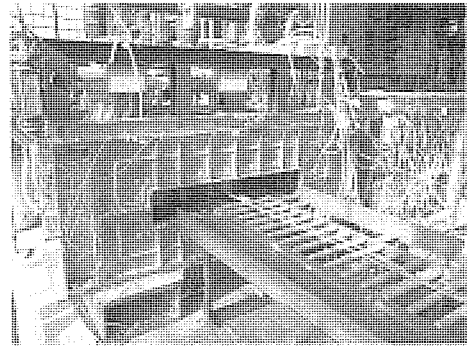


図5. シートバー全体誘導加熱装置の縮小サイズ試験機 (コイル開口径幅1,200mm高さ210mm)

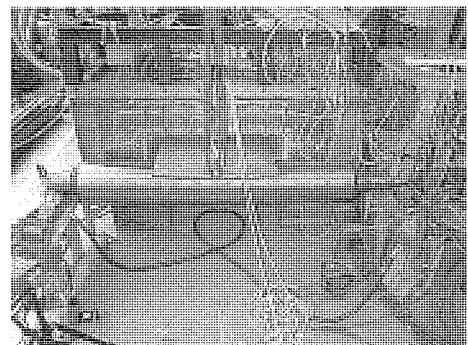


図6. スパーク確認試験の状況

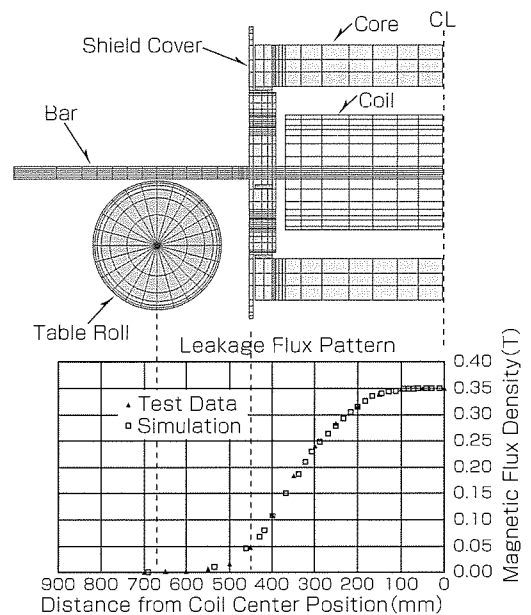


図7. シートバーライン方向の磁束密度分布 (解析と試験の比較)

ライン方向の磁束密度分布を示す。シートバーとテーブルローラ接触点の磁束密度は約1mTで非常に小さく、試験の結果、スパークは確認されなかった。実機においても製品への影響は全く出ていない。

2.3.5 ガイドレールの開発

シートバー全体誘導加熱装置は、コイルの構造上、シートバーの反りに対してエッジヒーターのように素早くギャップを開放して待避させるのは難しく、特にいったんコイル内にシートバーが搬送されれば不可能となる。そこで通常は、シートバーの反りを考慮してコイルの開口部高さが決められる。しかしながら、ライン異常によって想定以上の反りのシートバーが通過してしまう可能性もあり、この場合においてもコイル内の断熱材等をシートバーの接触から保護するため、コイル内にガイドレールを設置することとした。ガイドレールに求められるのは第一にシートバーの接触に耐えられる強度であるが、単純に強度強化のためにサイズを大きくすると、ガイドレール自体の誘導加熱による発熱損失が大きくなり、過加熱で寿命が著しく低減する。このため、ガイドレールの断面は強度を低下させないで極力誘導加熱を抑えられる形状に設計する必要がある。

今回開発したガイドレールを装着したコイル内部を図8に示す。ガイドレールは内部水冷式で高さ30mm×幅21mmであり、コイル内部の上下面に複数本配置し、シートバーの反りから断熱材等を保護している。実操業で使用し、断熱材及びコイル破損保護として効果を発揮している。

3. 鉄鋼プロセスライン用溶接機

3.1 連続酸洗ライン

連続酸洗ライン用溶接機として、主にフラッシュ溶接機、レーザービーム溶接機、マッシュシーム溶接機が使用される。図9に当社各種溶接機の接続時間の事例を示す。一般的に、フラッシュ溶接機は他の溶接法に比較して溶接時間が短い。さらに当社のシヤー内蔵式フラッシュ溶接機(以下“NMW”という。)は、切断・溶接・フラッシュトリミングを同じ位置で行うため更に接続時間が短くなる。

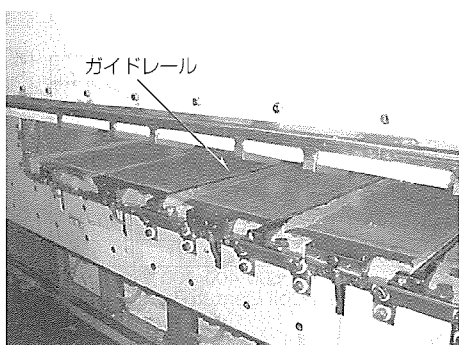


図8. ガイドレール

ゲージバー内蔵式フラッシュ溶接機は、ゲージバーにストリップを突き当てたとき板幅の一部しか当たらないことがあるので、手動介入が必要である。そのため、国内製鉄所の酸洗ラインでは、NMWを多用している。

マッシュシーム溶接機は、電極円板が直接溶接部に接触して溶接電流を供給するため、スケールが付着しているとストリップの表面にピックアップが発生する。酸洗用マッシュシーム溶接機は、内蔵のロータリシヤーで切断時に同時に表面のスケールを研削するため、図10に示すように、きれいな表面の溶接が得られる。

熱延技術の進歩に伴い薄板の領域が広がり、板厚0.7mmまでの薄板を連続酸洗ラインに通板される場合がある。フラッシュ溶接機はこの領域の溶接は困難であるが、マッシュシーム溶接機ならばこの要求にこたえられる。

また、切断装置にロータリシヤーを採用しており、4.5mmまでの厚板まで小型の構造で切断・溶接ができる。しかし、マッシュシーム溶接は、電極が接触する表面の温度が上昇しないため、未溶融部が発生する。このため、通常、マッシュシーム溶接機は、本格的な圧延ラインに使用されない。

レーザービーム溶接機は、特殊鋼の製造ラインを主体にするラインに通常設置される。接続時間はフラッシュ溶接機に比較して時間がかかるため、すなわち、フラッシュ溶接が不可能な材料の製造ラインに適用する。表3に各種溶接機の種類・材料化学成分に対する溶接可能領域の目安を示す。この溶接可能領域は、他の成分の微細含有量によっても変化する。

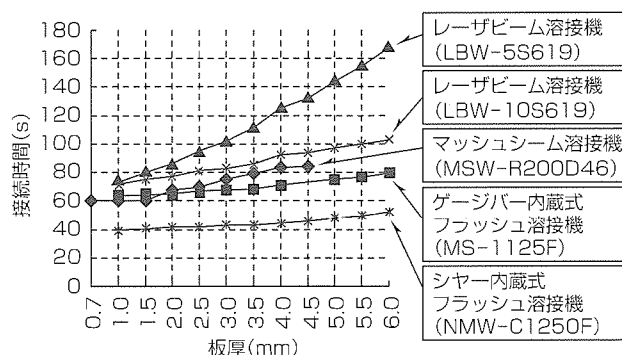


図9. 各種溶接機の接続時間の比較

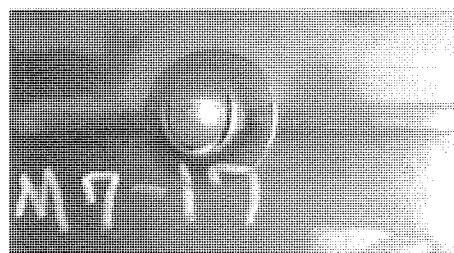


図10. 熱延済みストリップのマッシュシーム溶接表面

表3. 各種溶接機の化学成分に対する溶接可能範囲

| 材 料 材料化学成分 | 炭 素 鋼 | | | | | | | | | | | | | | | | ステンレス | | |
|-------------------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|---|
| | *Ceq% | | | Si% | | | | | | Mn% | | | | Cr% | | AUS | FER | MAR | |
| | 0.2 | 0.6 | 1.0 | 0.4 | 0.8 | 1.2 | 1.6 | 2.0 | 3.5 | 0.4 | 1.2 | 2.0 | 2.5 | 0.5 | 1.5 | | | | |
| マッシュシーム 溶接機 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| フラッシュ 溶接機 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| NMW(油塗布) | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| NMW(油塗布, ポストアニール 付き) | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| レーザービーム 溶接機 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| レーザービーム 溶接機(ポストア ニール付き) | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |

備考： ■ : 実ラインで当社適用事例あり。
 □ : 詳細化学成分によっては、適用可能
 * : $Ceq = C + Mn / 6 + Si / 24 + Ni / 40 + Cr / 5 + V / 14$

最近、普通鋼を生産するラインで特殊鋼の生産を行う動きが高まっている。この場合、特殊鋼の溶接ができ、かつストリップを接続する時間も短いという両者が要求される。表に示すとおりNMW(油塗布付き、ポストアニール付き)はかなりの範囲の特殊鋼を溶接することができる。油塗布装置を使用したNMWの溶接方法は、ロータリシャーでストリップを切断するとき自動的に油を塗布し、溶接中は図11に示すように溶接部の上下をシールドカバーで覆い、ストリップに塗布した油をフラッシュ中燃焼させて周辺の酸素を除去することによって溶接部に酸化介在物を巻き込むことを防ぐ方法を採用している。シリコンやマンガンのように酸化しやすい化学成分にはこの方法が特に有効である。

また、フラッシュ溶接では溶接部の硬度が上がり過ぎて通板できない場合は、通常、溶接後ポストアニールを行う。

NMWでは、切断、溶接、トリミング、ポストアニールとストリップを動かさないで行う。しかし、ポストアニールのために、溶接後、更に約1分間必要である。一方、トリマが別位置にある一般のフラッシュ溶接機では、ストリップを動かす制御が難しいために実ラインで採用されることが少ない。

3.2 連続冷間圧延ライン

酸洗された材料を冷間圧延せずにそのまま次の工程へ回す材料がある。特に1.6mmよりも薄い材料は冷間圧延をしない。冷間圧延ラインを通板させる材料は、通常、板厚は1.6mmから6.0mmである。このラインに設置される溶接機は、その接合部が安定して圧延に耐えるということが最低要件である。溶接機としては、主にフラッシュ溶接機とレーザービーム溶接機がある。いずれも、自動化と位置決め安定化のためにシャーを内蔵する。連続酸洗ライン用溶接機で述べたように、主に最短の接合時間を要求される一般

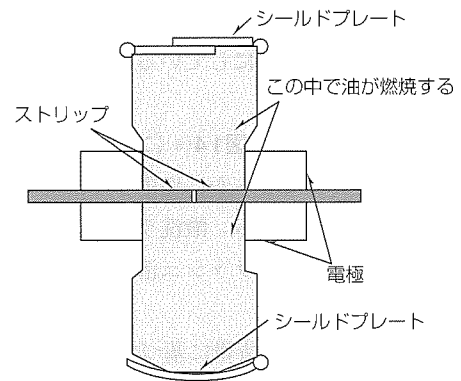


図11. 油塗布式NMWの溶接部

用炭素鋼及び高張力鋼はフラッシュ溶接機が採用され、生産性よりも特殊鋼の溶接性が要求されるラインはレーザービーム溶接機が採用される。連続冷間圧延ラインに設置される溶接機は、連続酸洗ラインの場合と違って、異厚、異幅、特殊鋼の溶接部も圧延される。酸洗ラインでは、必要ならば出側で溶接部が分割される。

形状変化による圧延時の張力変動を考慮して、接続される材料の板厚差は最大1.0mm、板幅差は最大300mmに抑えられている。また、溶接部の熱バランスから、異厚の組合せを30%以内としている。

NMWでは、異厚の圧延を安定して行えるように下記の構造を採用している。

(1) 板厚中心合わせ溶接

図12に示すとおり、通常、図の(b)のように下基準溶接を行うと薄板側が下方に曲がって段差による不良溶接が発生しやすくなる。(a)のように中心合わせ溶接が必要である。

そこで、板厚情報によって後行ストリップ側の移動台車全体を操作側と駆動側のそれぞれのくさび(楔)を制御し、

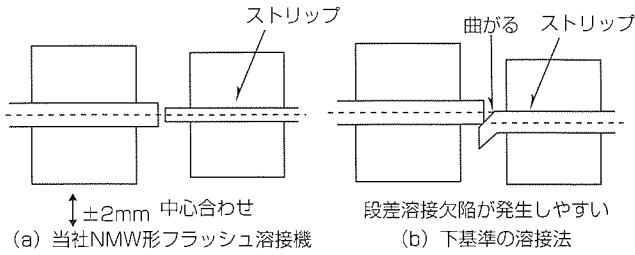


図12. 板厚突き合わせ方法

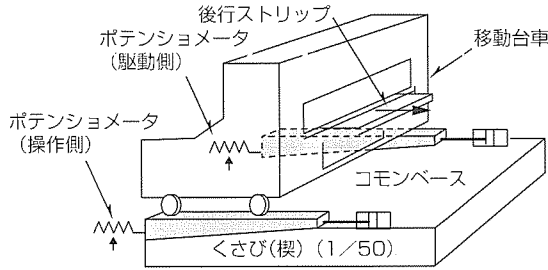


図13. 移動台車高さ調整装置

板厚中心合わせ溶接を可能にしている(図13)。

(2) 薄板基準のトリミング

異厚溶接を行ったとき、図14(a)に示すとおり、溶接部に段差を残さないように滑らかに切削しておくことが安定した圧延にとって必要である。酸洗ラインに使用されるフラッシュ溶接機や通常のフラッシュ溶接機は、図(b)の厚板基準切削である。

そこで、NMWは、板厚情報に基づいて、図15に示す機構を使ってバイトの高さを調整し、自動的に薄板基準切削ができるようにしている。

ラインの効率的運転をねらって既存の酸洗ラインと圧延ラインを直結する場合がある。このとき、溶接機の性能が非常に重要であり、従来のゲージバー式のフラッシュ溶接機からシヤを内蔵しかつ異厚対策及び油付け溶接による多鋼種の溶接を可能にしたNMWにリプレースする事例が多い。

3.3 圧延後のプロセスライン

圧延後のプロセスライン用溶接機としてはマッシュシーム溶接機が多用される。マッシュシーム溶接機以外に、主にレーザー溶接機、ラップシーム溶接機、スポット溶接機がある。マッシュシーム溶接機が多用される理由は、接続時間、溶接部の仕上がり厚さ、溶接強度、溶接可能鋼種、溶接可能板厚、自動化等の点で総合的に優れているからである。

マッシュシーム溶接機とレーザービーム溶接機を比較したとき、接続時間はマッシュシーム溶接機の方が早い。マッシュシーム溶接機が適用できる材料化学成分は、表3に示すとおり、ほとんどレーザービーム溶接機と同じである。

マッシュシーム溶接機には、ギロチンシヤを内蔵する

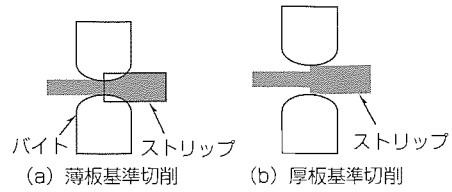


図14. トリミングの方法

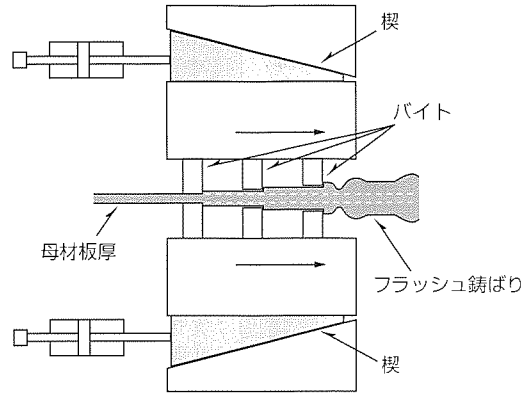


図15. トリマ用バイト高さ調整装置

場合とロータリシヤを内蔵する場合がある。ロータリシヤは、切断力がギロチンシヤより小さく小型にできるため、4.5mmクラスの厚板にはこの方式を採用している。

連続塗装ラインは、亜鉛めっき鋼板を接合するため溶接が難しい。従来、機械式接続装置を使用していたが、接合強度が曲げに弱い、接合形状が悪いため色むらの原因になる等の問題があった。一方、マッシュシーム溶接機の性能向上により、亜鉛めっき鋼板を安定して溶接ができるようになり、かつ溶接部の仕上がり厚さがほぼ母材厚になる(母材板厚+0.8mm又は母材板厚の110%のどちらかを満足する。)等によってマッシュシーム溶接機を塗装ラインに設置される場合が多くなっている。

4. むすび

鉄鋼プラントにとって連続化することによって飛躍的にその生産性向上を図ることができ、かつ、他の多くの効果を得られることは言を待たない。その連続化の主要設備は接合装置である。本稿が連続化の計画に少しでも参考になれば幸甚である。

参考文献

- (1) 宮田淳二, 井上秋雄, 大崎嘉彦, 江口俊信, 袖野恵嗣: 鉄鋼プラント用溶接機と誘導加熱装置, 三菱電機技報, 70, No.10, 1016~1021 (1996)
- (2) 二階堂英幸, 磯山 茂, 野村信彰, 林 寛治, 森本和夫, 坂本秀夫: 千葉製鉄所第3熱延工場におけるエンドレス圧延技術, 川崎製鉄技報別刷, 28, No.4, 26~32 (1996)

レーザ走査型センサを用いた厚板キャンバ計

杉山昌之* 段 儀治***
 中島利郎** 藤内秀人***
 田壺宏和**

要 旨

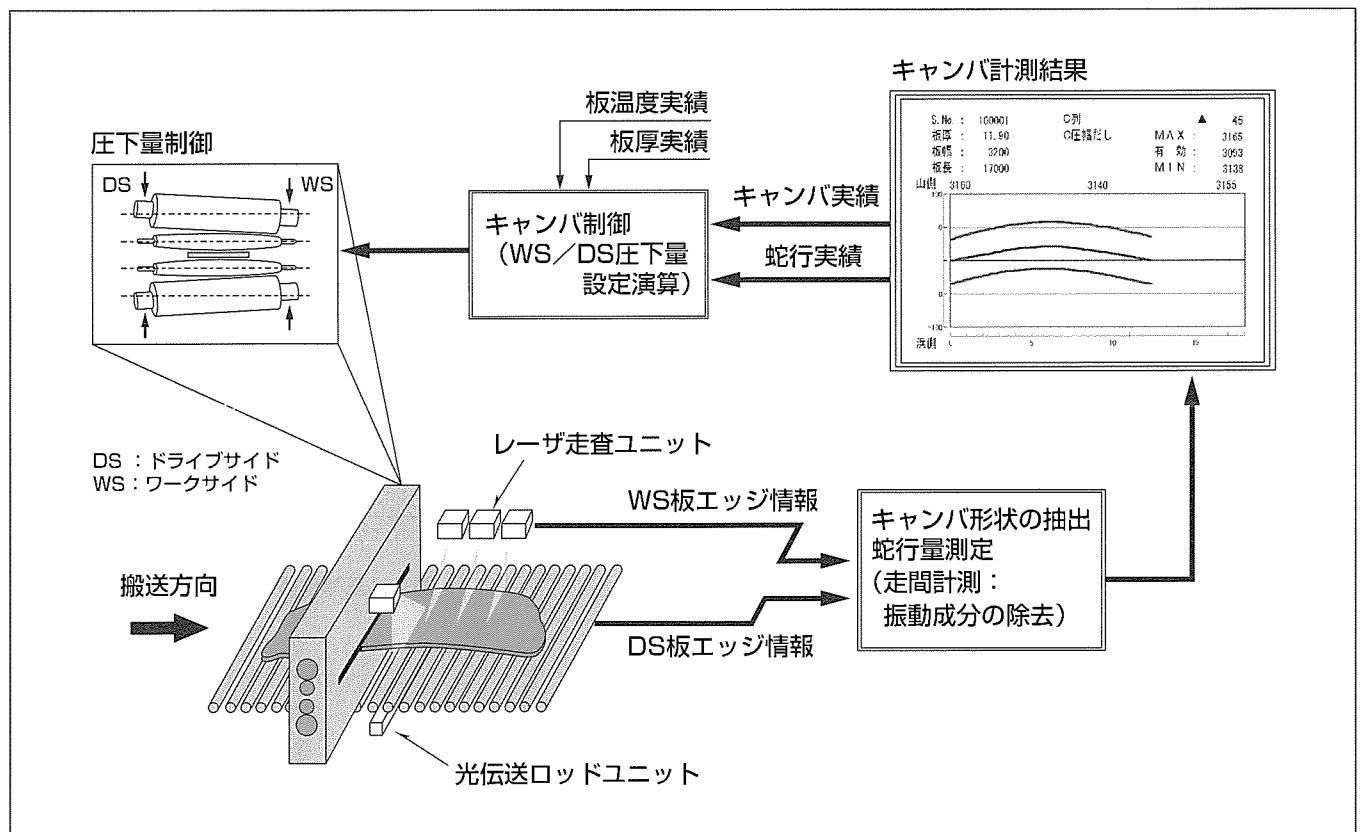
鉄鋼プラントにおける各種形状測定装置は、圧延制御の高度化のニーズに歩調を合わせながら進歩を続けてきた。

厚板圧延における鋼板のキャンバ(平面曲がり)は、製品板取りにおける歩留りを悪化させ、また、極端なキャンバの発生は圧延不能によるライン停止を引き起こすため、キャンバ制御は圧延制御の中で重要な意味を持っている。

圧延におけるキャンバの計測及びその制御方法については、従来から数多くの研究・開発が試みられてきた。しかし、環境や設置スペースの制約から圧延機近傍での計測ができない、低温材の計測ができない等の問題があり、最適キャンバ制御を実現する上での課題となっていた。

今回、圧延制御に有利となる圧延機直近でのキャンバ計測を目的に、従来の手法として一般的であったCCDカメラ方式に代わる新しい方式として、レーザ光走査と光伝送ロッド受光による高分解能エッジセンサを開発し製品化した。さらに、このセンサを用いて搬送中の振動・回転成分を除去しキャンバ形状のみを抽出・復元するアルゴリズムの適用により、キャンバの走間計測を実現した。

本稿では、上記レーザ走査型エッジセンサとこれを用いたキャンバ計の計測原理とアルゴリズムについて紹介するとともに、オンラインでのフィードバック情報に基づいたキャンバ制御の適用結果についても述べる。



キャンバ制御系の概略

圧延機直近に設置された高分解能エッジセンサ群は、搬送中の鋼板エッジ位置を計測する。その計測結果を基にしてキャンバ形状を復元・抽出し、実績をプロコンへ送信する。プロコンは、受信した実績を基に次のパスの圧下設定を変更し、キャンバ制御を行う。

1. ま え が き

厚板圧延におけるキャンバ(平面曲がり)の制御及び防止は、製品板取りにおける歩留りの向上に大きく寄与するもので、厚板の平たん(坦)度品質と並んで厚板圧延の主要な制御要素に位置付けられている。

また、極端なキャンバの発生は圧延不能によるライン停止につながり、安定操業上も大きなネックとなることから、キャンバ制御の安定した実用化が急がれていた。

キャンバ制御においては圧延機の板幅方向の非対称性を考慮した板厚制御モデルが基本となるが、実用化に当たっては、圧延時の板厚のオフセンタ(板幅中心と圧延ロール中心とのずれ)や板幅方向の温度偏差等の非対称性に起因して発生するキャンバ量を正確に把握し、前述した板厚制御モデルに加味していくことで、安定したキャンバ制御が可能となる。

そのためには、圧延機直近に設置可能な高精度キャンバ計の開発が必ず(須)条件となる。

本稿では、従来の手法として一般的であったCCDカメラ方式に代わる新しい方式として開発したレーザ光走査と光伝送ロッド受光による高精度キャンバ計について記述するとともに、そのキャンバ計を厚板圧延機直近に設置し、そのフィードバック情報に基づいたキャンバ制御の適用結果について述べる。

2. レーザ走査・光伝送ロッド受光式エッジセンサ

2.1 概 要

鉄鋼プラントにおける形状センサは、品質管理のための制御情報源や品質検査情報として重要な役割を果たしてい

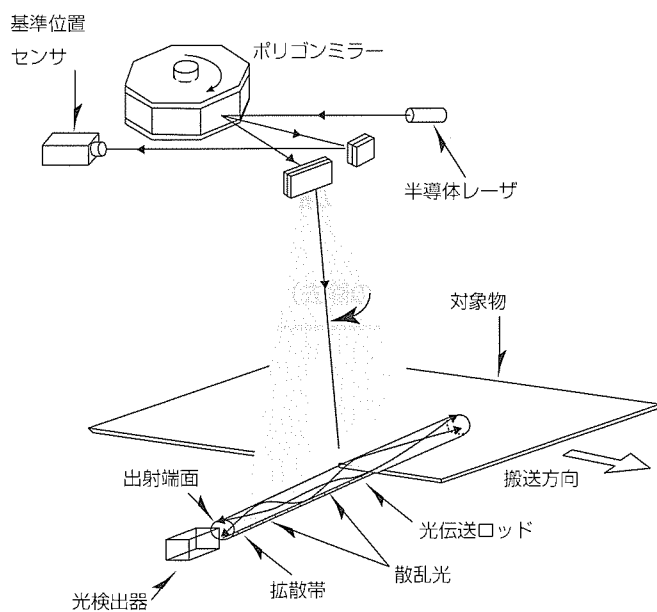


図1. 光伝送ロッド受光式センサ原理図

る。この形状センサの最も基本的な計測方式の一つにエッジセンサがある。ここでは、従来から提案されているCCDカメラ方式に代わる高分解能形のレーザ走査・光伝送ロッド受光方式のエッジセンサを紹介する。

2.2 計測原理(エッジ検出)

図1にレーザ走査・光伝送ロッド受光方式エッジセンサの原理図を示す。

半導体レーザ光をポリゴンミラーによって対象物の幅方向に高速走査し、対象物の下面に設置した光伝送ロッドにレーザ光を照射する。レーザ光は、光伝送ロッド内を伝搬し、端部の受光素子に入光する。対象物によって遮光された走査レーザ光が、対象物のエッジ位置で、入光したタイミングを基準位置からの時間で計測して対象物のエッジ座標を検出する。

図2は時刻 t における基準位置センサの受信信号を示し、図3は走査されたレーザ光が対象物によって遮光された状態から入光した状態の光検出器信号出力を示す。

図2の基準位置センサのON時刻(基準点)から図3の光検出器信号の入光時刻(a点)までの時間を対象物のエッジ位置として検出する。

2.3 計測原理(ステレオ方式)

搬送中の鋼板の計測では、板厚の変化、振動、反り等による上下動に影響されない幅方向エッジ座標を計測する必要がある。

図4に鋼板エッジ座標をステレオ方式で検出する計測原

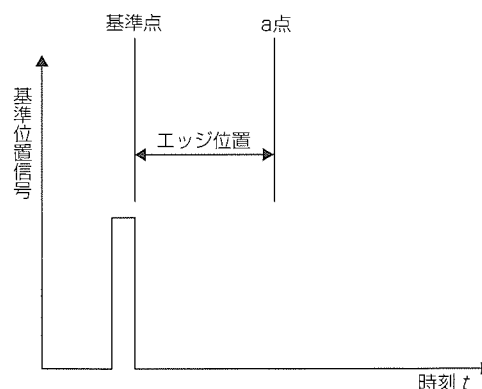


図2. 基準位置信号

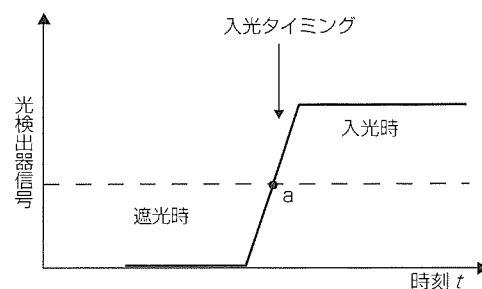


図3. 光検出器信号

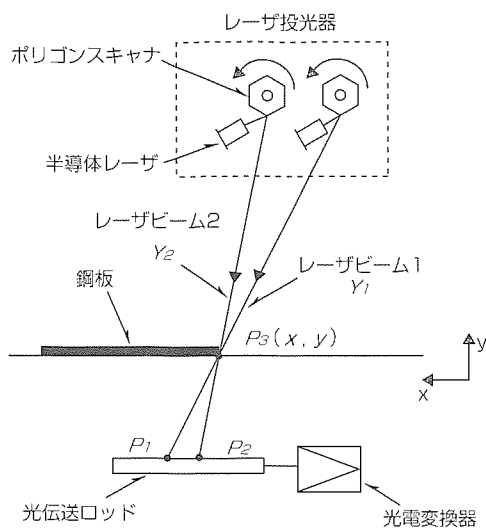


図4. ステレオ方式の原理図

理を示す。2台の半導体レーザーをポリゴンスキャナによって板幅方向に走査させ、板下面に設置した光伝送ロッドで受光する。光伝送ロッドに入射したレーザー光は、ロッド内を伝搬し、端部で光電変換される。鋼板によってレーザー光が入光されている時間を計測し、空間座標 P_1 、 P_2 を求め、二つの座標 P_1 と P_2 から得られる直線 Y_1 、 Y_2 の交点を演算し、鋼板エッジ座標 P_3 を得る。このように、座標 P_3 は、幅方向位置を x 、鋼板の高さ方向位置を y とする二次元座標空間の $P_3(x, y)$ として求められる。

2.4 特長

鋼板エッジ計測方式には、

- (1) 自発光方式
赤熱鋼板のふく(幅)射エネルギーをカメラで撮像する方式
- (2) 透過光方式
鋼板下部に光源を設け、鋼板によって遮光される位置を上部のカメラで計測する方式
- (3) 反射光方式
鋼板に対して光を照射し、鋼板からの反射光をカメラで撮像する方式

が一般的に知られている。

上記の(1)の方式は、鋼板温度が数十度変化しても輻射エネルギーが数倍変化するため、鋼板の温度むらに信号レベルが大きく左右されるという欠点がある。(2)の方式は、鋼板の温度に影響されないものの、下部に光源を設置する必要があり、光源の信頼性と設置スペース確保のための工事費用が問題となる。(3)の方式は、下部に光源を設置するスペースを必要としないものの、鋼板の表面粗度やスケールや水等による反射率の変化が大きく、鉄鋼現場での厳しい環境で安定して計測することができないという難点がある。

レーザー走査・光伝送ロッド方式エッジセンサは、上記(1)の欠点を克服し、(2)と(3)の方式の長所を兼ね備えた方式である。

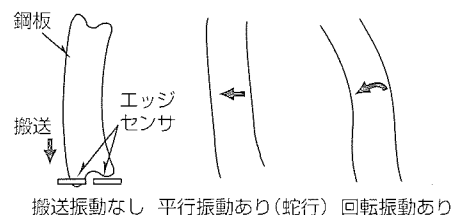


図5. エッジの軌跡の計測結果

したがって、このセンサの特長は以下のとおりである。

- 鋼板温度むらや表面粗度に影響されない
- コンパクトな構造
- 周囲の水蒸気の影響を受けにくい

この高分解能エッジセンサを応用することにより、対象物の幅や平面曲がり形状を計測することができる。

3. キャンバ計

3.1 概要

熱間圧延及び厚板圧延設備において圧延された鋼板は、図5に示すような鋼板の長手方向にキャンバと呼ばれる平面曲がりが発生する。これは採取すべきシート材の歩留りに影響するもので、キャンバ形状のオンライン計測は、歩留りの把握やひいてはキャンバを抑制する圧延制御等への情報として期待されている。以下に、レーザー走査・光伝送ロッド方式エッジセンサを用いたキャンバ計測への適用例について述べる。

3.2 キャンバ形状復元アルゴリズム

圧延中のキャンバを計測する上で、走間計測は必須条件である。

鋼板が搬送される時、走行方向に対して直角方向に移動する平行振動と、走行方向に対して回転する回転振動の二つの雑音成分が生じる。このように鋼板が平行移動又は回転しながら搬送されたときに2台のエッジセンサでキャンバを測定すると、図5のように正確なキャンバ形状を抽出することは不可能である。

したがって、鋼板の搬送時に生じる振動雑音成分を効果的に除去するアルゴリズムが必要となる。

鋼板が搬送状態で計測した板エッジの軌跡を $F(x, t)$ としたとき、この $F(x, t)$ には板の回転振動 $R(t) \cdot x$ と平行振動 $V(t)$ が混在しており、式(1)で表される。

$$F(x, t) = f(x) + R(t) \cdot x + V(t) \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 $F(x, t)$: 計測された板エッジの軌跡

$f(x)$: 板のキャンバプロフィール

$R(t)$: 回転による板の傾き

$R(t) \cdot x$: 回転振動

$V(t)$: 平行振動

x : 板の長手方向位置

式(1)を鋼板の長手方向位置 x で2回微分することで、式

(2)に示すように回転振動と平行振動が除去される。

$$\frac{\partial^2 F(x, t)}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 f(x)}{\partial x^2} \dots\dots\dots(2)$$

ここで、式(2)を2回積分することで、板のキャンバプロフィール $f(x)$ を式(3)として求めることができる。

$$f(x) = \iint \left[\frac{\partial^2 F(x, t)}{\partial x^2} \right] dx \cdot dx \dots\dots\dots(3)$$

上記アルゴリズムを基に、走行方向に3台配置したエッジセンサによって得られた3点のエッジ座標を2回差分することで、式(2)に相当する結果を得る。その差分値を式(3)に従って積算処理して、鋼板のキャンバ形状を復元する。

3.3 キャンバ計センサ配置

図6及び図7は、搬送される鋼板の平面形状を測定するエッジセンサ群の定義及び配置を示す。エッジセンサWS1~WS3はキャンバ計測を、さらにエッジセンサWS1とエッジセンサDS1によって鋼板の幅と蛇行量を計測する。

3.4 特長

キャンバの計測方式には、

- ①二次元CCDカメラ等を用いて鋼板平面全体を一括で撮像する方式
- ②鋼板エッジ部を前述のエッジ計測方式等によって部分的に計測し、そのエッジ部軌跡の計測結果を基に鋼板平面全体の形状を復元する方式

が考えられる。

前者①の方式は、鋼板長さ数十メートルにわたる鋼板平面形状を一括で計測しなければならないことから、形状測定分解能に限界があるとの問題がある。

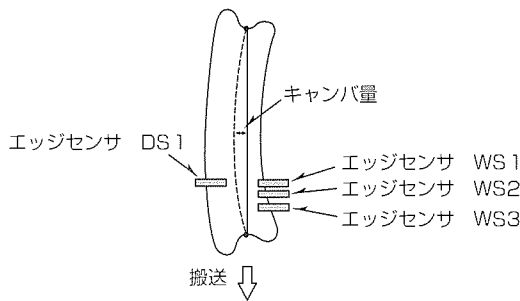


図6. キャンバ定義

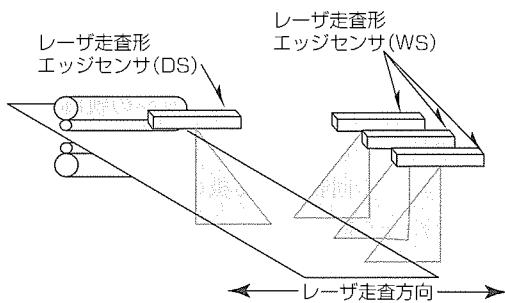


図7. キャンバ配置図

一方、後者②の方式は、部分的に計測された結果から全体形状を復元する際に、搬送中の外乱成分を除去する必要がある。前述のキャンバ形状復元アルゴリズムは、この搬送中の外乱成分を効果的に除去する方式であると言える。

したがって、そのアルゴリズムの特長は次のとおりである。

- (1) 板搬送時の平行振動及び回転振動に影響されずに、キャンバ形状の走間計測が可能である。
- (2) n 次関数では近似しきれない形状に対しても精度良く復元ができる。

3.5 計測結果

図8に示すように、キャンバ計による計測値と手計測との比較結果は非常に良好な結果が得られている。

4. キャンバ制御の実施効果

4.1 概要

圧延中に入側板厚の幅方向不均一要因等によって板幅方向のDS側とWS側で圧下ひずみが非対称になると、鋼板にキャンバが発生する。キャンバ制御の基本は、①種々の要因で発生するキャンバを計測、②キャンバを修正するための次パスの目標板厚(DSとWS)の設定、③その目標板厚となるためのDSとWSの圧下位置の設定である。

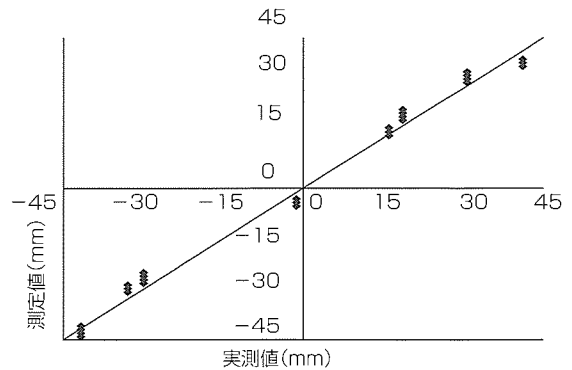


図8. キャンバ計測結果

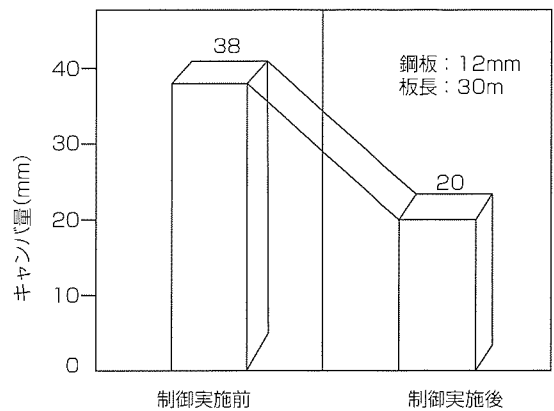


図9. キャンバ制御による実施効果

したがって、圧延機近傍にキャンバ計を設置することにより、圧延途中の鋼板に対するフィードバック制御に即応でき、よりキャンバの防止効果が期待できる。

4.2 実機試行結果

図9に、前述のキャンバ計を活用した圧延機のDS-WSの独立圧下制御によるキャンバ制御の効果について示す。

キャンバ制御実施前後において、平均キャンバ量は約38mmから約20mmと大きく改善できることが確認された。

5. む す び

鉄鋼プラントにおける製品の品質化と生産効率向上は、制御高度化技術を軸にして、今後激しく展開していくことが予想される。

本稿では、キャンバ計の開発を例に、新しいセンシング技術と制御による実施成果について紹介したが、ここで述べた光応用の新しい可能性を追求したセンサの開発及びキャンバ制御を内包した板厚制御モデルの実用化を目指した制御技術の開発等は、これからの制御高度化の流れの中で更に発展と広がりが期待される。

さらには、これらの技術を我々が目指す次世代鉄鋼プラント実現へ向けての足掛かりとしつつ、制御高度化へ向けての更なる研究・開発に注力していきたい。

参 考 文 献

- (1) 植木勝也, 杉山昌之, 田中洋次, 高島和夫: 鉄鋼プラント用センサ, 三菱電機技報, 70, No.10, 1022~1027 (1996)
- (2) 杉山昌之, 田壺宏和, 中島利郎, 植木勝也, 鹿井正博: 鉄鋼用形状センサ, 三菱電機技報, 73, No.8, 564~569 (1999)
- (3) 段 儀治, 浜口理彦, 藤内秀人, 三好大介(㈱神戸製鋼所), 田壺宏和, 中島利郎: ミル近接キャンバ計の開発, 日本鉄鋼協会講演論文集, 材料とプロセス, 第138回秋季講演大会, CAMP-ISIJ, 12, 1089 (1999)
- (4) 藤内秀人, 森本禎夫, 大江憲一, 島田信太郎, 段 儀治, 三好大介(㈱神戸製鋼所): キャンバ制御技術の開発, 日本鉄鋼協会講演論文集, 材料とプロセス, 第138回秋季講演大会, CAMP-ISIJ, 12, 1090 (1999)

スポットライト マルチメディア情報集配信システム

昨今の公共分野における道路・河川監視システム、浄水・下水処理プラント等の水処理プラントシステムでは、プラットフォームの汎用パソコン化、監視制御の合理化による広域化、汎用技術を用いた低コスト化が著しく、これらのニーズにこたえるために、三菱電機はマルチメディア（映像、音声等）機能やインターネット技術を適用したシステムの開発を進めております。

マルチメディア情報集配信システムは、これまでアナログ監視が主流であったCCTVカメラの映像をデジタル化し、インターネット技術を用いたGUIで監視を実現することで、事務所一般パソコンから社員の自宅まで広域にわたる監視システムを実現しました。

特長

1. ライブ映像配信と蓄積

ライブ映像をM-JPEGで圧縮し、ネットワークの容量に応じて配信可能です。さらに常時蓄積していますので、見逃し時にも映像のプレイバック確認が可能です。

(1) ライブ映像の配信と表示

- 高速映像：15フレーム／秒(640×480ドット)
- 中速映像：5フレーム／秒(640×480ドット)
- 低速映像：1フレーム／秒(640×480, 320×240ドット)

(2) ライブ映像の蓄積

常時ライブ映像を蓄積していますので、いつでも過去の映像を確認することができます。さらに、監視イベントと連動させることにより、イベント発生前後の映像をイベント映像として保存することができます。

2. 映像と情報の同時監視

従来専用モニタで監視していた映像を監視画面に表示可能ですので、以下の機能が容易に構築可能です。

(1) カメラ選択、切換え制御

地図上のカメラアイコンの選択により、映像の切換えや、カメラ制御（ズーム、首振り）が可能となります。

(2) 各種情報システムとの連携

道路／河川／防災情報システムと連携をすることで、より直接的な監視画面が実現できます。

(3) 静止画の保存

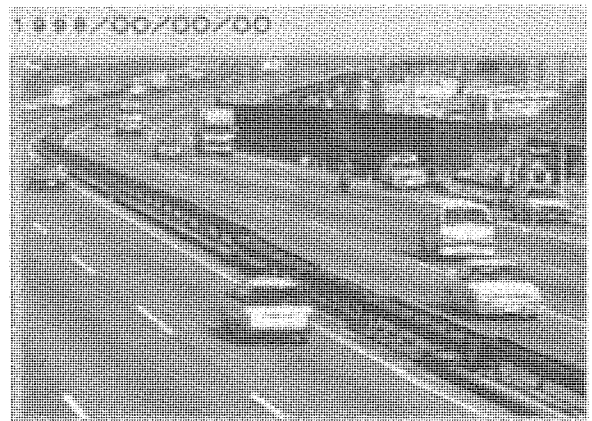
デジタル化された映像は、静止画として保存可能ですので、報告書等への張り付けが簡単にできます。

3. 一般業務用パソコンで監視が可能

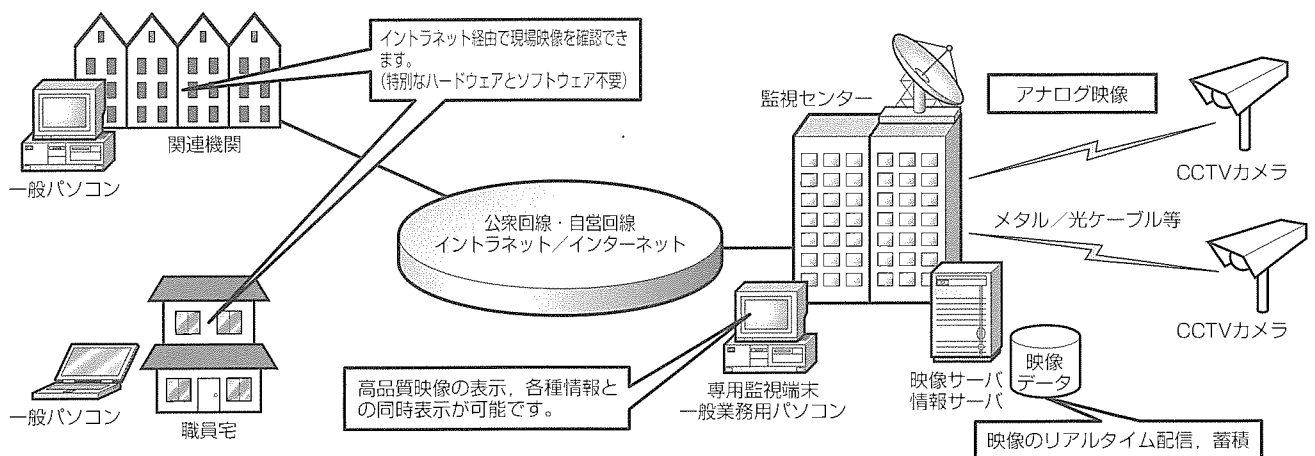
通常の業務に用いているEOA用のパソコンであってもインターネットアクセス用のブラウザさえあれば、監視端末として運用可能です。

4. 自宅で監視可能

映像をデジタル化していますので、自宅で現場映像や各種監視情報の確認ができるため、速やかな初動体制の確立に貢献でき、また自宅待機時も随時映像情報を確認可能です。



画面イメージ



システム構成イメージ



特許と新案**

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは
三菱電機株式会社 知的財産渉外部
電話(03)3218-9192(ダイヤルイン)

動き補償予測符号化装置及び動き補償予測復号装置 (特許 第2924430号, 特開平5-130595号)

この発明は、インタレース方式の映像信号を符号化する動き補償予測符号化装置に関するものである。

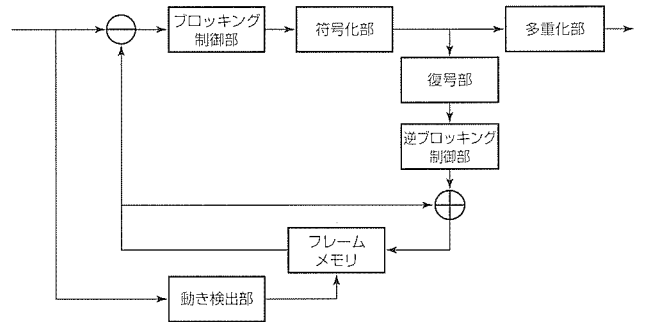
デジタル動画像信号の符号化では、二次元直交変換符号化(多くはDCT(離散コサイン変換)が使用される。)と動き補償付きフレーム間予測符号化の二つの方式を組み合わせて行う方式が一般的である。

現在使用されているテレビジョン信号は、インタレース方式と呼ばれる1ライン置き飛び越し走査により、二つのフィールドから一つのフレームが構成されている。この二つのフィールド間の信号相関は、画面の動きの大きさに応じて常に変化している。そのため、各々のフィールドを独立に符号化する場合と、合成して一つのフレームとして符号化する場合の二つのモードを備え、適宜切り換える方式が最も符号化効率が高められる。

この発明は、DCTを行うときのブロック構成と動き補

発明者 村上篤道, 浅井光太郎, 加藤嘉明, 山田悦久
償予測を行う参照画像の選択に対して、フィールド/フレームの二つのモードを持たせることによって符号化効率を高めるものである。

この発明は、デジタル放送やDVDなどに採用されているMPEG-2標準の必ず(須)技術であり、広範な活用が見込まれる。



符号化方式 (特許 第2924431号, 特開平5-284535号)

この発明は、インタレース動画像信号を圧縮符号化する動き補償予測符号化方式の特に動き補償に関するものである。

デジタル動画像信号の符号化では、空間方向の冗長性に対して二次元直交変換符号化(多くはDCT(離散コサイン変換)が使用される。)と時間方向の冗長性に対して動き補償付きフレーム間予測符号化とを組み合わせ合わせたハイブリッド方式を適用するのが一般的であり、各種標準方式にも採用されている。

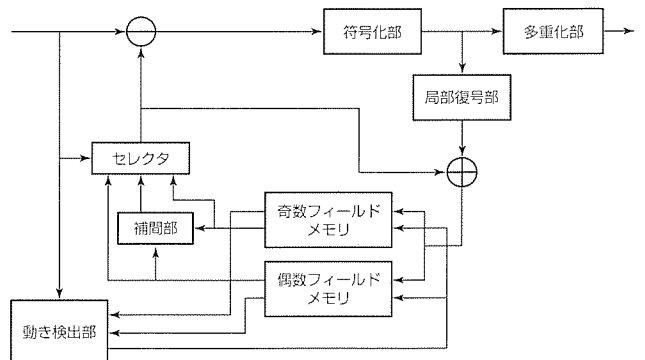
現在のテレビ方式は、インタレース方式と呼ばれ、空間サンプル位置が1ラインずれている奇数・偶数フィールドから1枚のフレームが構成される。この二つのフィールド間の信号相関は、画像の内容に大きく依存し、特に動きの大小に応じて動き補償の適応化を図ることによって動き補償予測効率を向上させることが可能となる。

この発明は、フィールド間動き補償予測において、過去に符号化した複数のフィールドを用いて予測フィールド間における補間予測を含む複数の予測信号から符号化に適し

発明者 村上篤道, 浅井光太郎, 西川博文
た信号を選択することにより、動き補償予測における符号化利得を大きく向上させることが可能となる。

この技術は、MPEG-2の予測モードにおけるデュアルプライム予測と呼ばれるMPEG-2の予測モードの一つに相当する。

この発明は、デジタル放送やDVDなどに採用されているMPEG-2ビデオ標準(ISO/IEC 13818-2)の必ず(須)技術であり、広範な活用が見込まれる。





特許と新案***

三菱電機は全ての特許及び新案を有償開放しております

有償開放についてのお問合せは
三菱電機株式会社 知的財産渉外部
電話(03)3218-9192(ダイヤルイン)

形状測定装置 (特許 第2690431号, 特開平4-214752号)

発明者 杉山昌之, 植木勝也

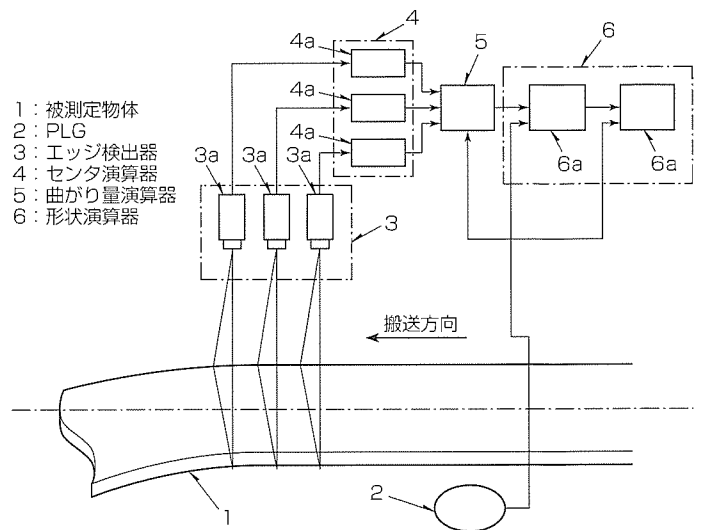
この発明は、搬送される被写物体の形状を測定する形状制御装置に関するものである。

従来の形状制御装置は、距離測定器の測定結果に含まれる振動成分を十分除去するためには平滑回路のフィルタ機能を高める必要があったが、平滑回路のフィルタ機能を高めると、フィルタ特性によって距離測定器の測定結果と被測定物体の実際の形状とにずれが生じてしまうなどの問題があった。

上記の問題を解決するこの発明の実施例を図に示す。被測定物体の上方に設置され、その被測定物体の幅方向の両エッジを少なくとも3か所で検出するエッジ検出器、被測定物体の幅方向におけるセンタを演算するセンタ演算器、PLGからパルス信号を受けたときセンタ演算器の演算結果を被測定物体の位置で2回微分することによってその被測定物体の幅方向におけるセンタの曲がり量を演算する曲がり量演算器、センタの曲がり量を被測定物体の位置で2回積分することによってその被測定物体の幅方向におけるセンタの形状を演

算する形状演算器からなる。

このような構成により、被測定物体が上下左右に振動かつ回転していても、正確に被測定物体の形状を測定することができる。



<次号予定> 三菱電機技報 Vol.74 No.6 「宇宙から海底までIT社会を支える光・高周波デバイス」特集

特集論文

- 光・高周波デバイス技術の豊かさを求めて
- 光・高周波デバイスの現状と展望
- 光通信用高性能2.5Gbps-PD/APDプリアンプ
- 10Gbps波長多重通信用変調器集積型レーザ
- マイクロ波信号伝送用EA変調器モジュール
- Erドープファイバアンプ励起用0.98μm高出力半導体レーザ
- Prドープファイバアンプ励起用1.02μm高出力半導体レーザ
- 8倍速CD-R用780nm低電流型高出力半導体レーザ

- DVD-RAM/RW用赤色低動作電流高出力半導体レーザ
- リードレス構造低雑音HEMT
- 高周波高出力RF MOSFET
- 移動体通信用HBT-MMIC増幅器
- W-CDMA用高効率パワーアンプ
- 埋め込みPHS構造を用いたX帯動作高出力MMIC増幅器
- ミリ波帯マルチメディア通信用ダウンコンバータチップセット
- 50GHz帯高利得モノリシック平衡形ゲートミキサ

| | |
|---|--|
| <p>三菱電機技報編集委員</p> <p>委員長 鈴木 新</p> <p>委員 中村 治樹 永峰 隆 藤川 裕夫 河内 浩明 浜 敬三 茅 嶋 宏 佐々木和則 吉原 孝夫 畑谷 正雄 松本 修 村松 洋 西谷 一治 伊藤 敬</p> <p>幹事 鈴木 隆二</p> <p>5月号特集担当 若宮 宣範</p> | <p>三菱電機技報 74巻5号 2000年5月22日 印刷 (無断転載・複製を禁ず) 2000年5月25日 発行</p> <p>編 集 人 鈴 木 新</p> <p>発 行 人 鈴 木 隆 二</p> <p>発 行 所 三菱電機エンジニアリング株式会社 ドキュメント事業部 〒105-0011 東京都港区芝公園二丁目4番1号 秀和芝パークビルA館9階 電話 (03) 3437局2692</p> <p>印 刷 所 菱電印刷株式会社</p> <p>発 売 元 株式会社 オーム社 〒101-0054 東京都千代田区神田錦町三丁目1番地 電話 (03) 3233局0641</p> <p>定 価 1部735円(本体700円) 送料別</p> |
| <p>URL http://www.melco.co.jp/giho/</p> | <p>お問い合わせ先 cep.giho@ml.hq.melco.co.jp</p> |

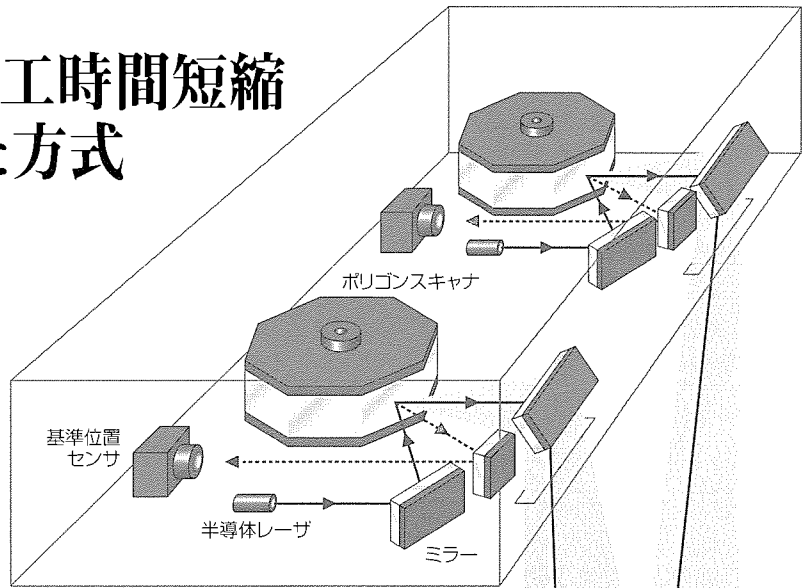
スポットライト

キャンバ計・板幅計用

高分解能エッジセンサ

小型化によって施工時間短縮 耐環境性に優れた方式

5,000ビット一次元
CCDの3倍の高分解能を
達成するエッジセンサです。
フライングレーザー光と光伝
送ロッドの組合せにより、
カメラ方式では不可能な分
解能を実現しました。



半導体レーザー光をポリゴンミラーによって高速で対象物の幅方向に走査し、対象物の下面に設置した光伝送ロッドにレーザー光を照射します。

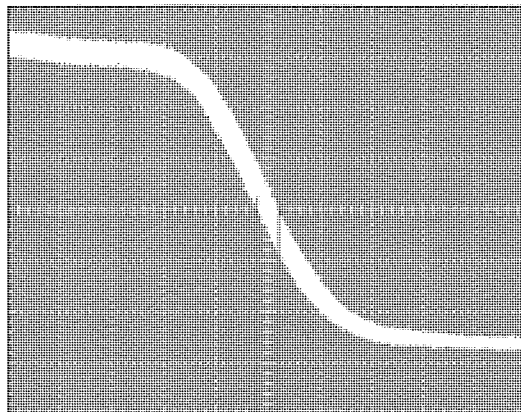
レーザー光は光伝送ロッド内を伝搬し、端部の受光素子に入光します。

走査レーザー光が対象物のエッジで遮光されたタイミングを基準位置からの時間で計測し、対象物エッジ座標を演算します。

対象物の厚み変化や上下動によるエッジ座標の誤差を抑えるために2本のレーザー光を走査し、その交点座標を求めるステレオ式高精度エッジセンサです。

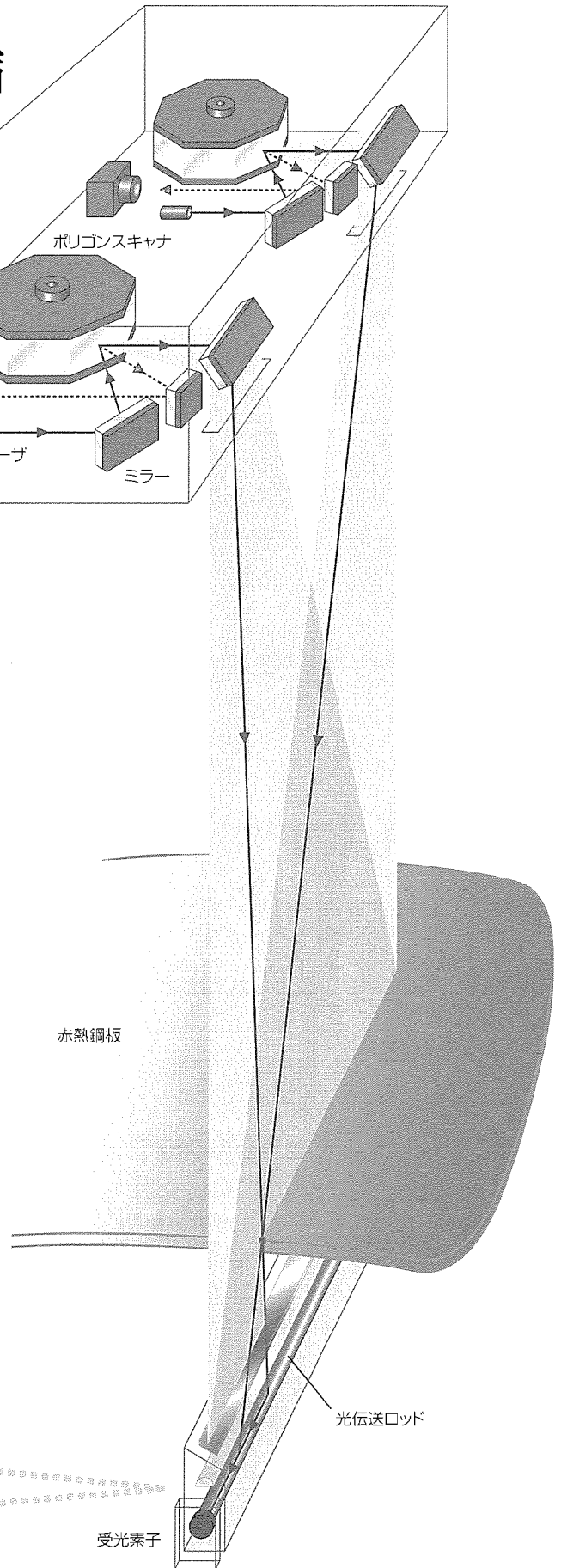
| 仕 様 | |
|----------|-----------------|
| サンプリング周期 | 2ms |
| 測定範囲 | 2,000mm |
| 分解能 | 1/15,000 |
| 方式 | レーザー走査形光伝送ロッド方式 |
| 測定対象温度 | ~1,000℃ |

レーザー光遮光タイミングの安定度 (1,000回のデータ)



40nsばらつき

従来品よりもコンパクト!!
断面約10cm²



受光素子