



鉄鋼業におけるレーザーの利用

高 藤 英 生*・市 古 修 身*

Application of Laser in Steel Industry

Hideo TAKAFUJI and Osami ICHIKO

1. はじめに

神の創り給うた自然の仕組みに、人智の匠を加えて造られた人工の光 LASER。無限の可能性を秘めた特性とその名前の魅惑的なひびきによつて、レーザーは 20 世紀後半の人類の夢と期待を育ててきた。

1958 年 SHAWLOW と TOWNES によつて理論的に予言され、1960 年 MAIMAN のルビーレーザー発振の成功によつてこの世に登場したレーザーは、今世紀最大の発明のひとつといわれながら、利用面における進展は当初必ずしも順調なものではなかつた。研究開発の割に実用化が進まず、金ばかり使つて役に立たないプレイボーイ技術と皮肉を言われた時期もあつた。しかし誕生から 25 年、改めて周囲を見渡してみると、実にさまざまな利用技術が実用化されている¹⁾。

光通信はその潜在的能力が古くから指摘されており、レーザーの出現を機に活発な研究が始められたが、初期の 10 年ぐらひはガスレーザーによる空間伝送が主で、見通しは楽観的なものでなかつた。しかし半導体レーザー、石英光ファイバーというすぐれた光素子の出現により初めて前途に見通しが得られ、激しい開発競争により実用化されるに至つた。今後、高度情報化社会の中心的な技術として発展することは間違いない。

レーザー加工・熱処理も盛んで、CO₂、YAG (以下レーザーを省略)を中心に、精密機械、電気部品の溶接、スクライビングや鋼板、布地のカッティングマシンなど多くの分野で実用されている。

医療においては、生体組織のレーザー光吸収特性が利用され、CO₂によるレーザーメス(切開、切除、蒸発)をはじめ YAG や Ar を用いるレーザー凝固治療(眼底、血液、組織)などが行われている。

情報分野での代表例は、レーザープリンターである。電子写真プロセスにレーザーが結合したもので、He-Cd, Ar, He-Ne などが用いられている。高速高品質印字、普通紙使用、多文字使用(日本語出力)、グラフ処理、とりわけ低騒音という長所があるため、OA 分

野における伸びが期待される。

民生利用の例では、レーザーディスク(ビデオディスク)、コンパクトディスク(オーディオディスク)があり、露光記録用に Ar、読出し用に He-Ne、半導体等が用いられている。更に書き込み、消去可能な光磁気メモリーも研究されており、産業用を含めた広大な市場が待っている。

このほか計測・分析への利用も多く、表 1 に示すようにレーザー技術は広範な分野で実用技術として花開き発展している²⁾。

レーザーの誕生と成長の歴史は、日本鉄鋼業の高度成長の時期と重なつており、その利用に多大の努力を傾けてきた。しかしようやく成熟期を迎え飛躍脱皮を求めら

表 1 主なレーザーの特性と応用分野²⁾

レーザー	波長 (μm)	出力	応用分野
炭酸ガス	10.6	C 20 kW P 100Hz 1 kW T 10Hz 10 MW	熱加工、医療加工 レーザーレーダー
Nd: YAG	1.06 (0.53)	C 400 W P 100Hz 10 kW Q 10kHz 5 kW Q 10Hz 10 MW	加工、医療加工 電子部品加工 レーザーレーダー
Nd: ガラス	1.06	P 単パルス増幅 10 TW	核 融 合
He-Ne	0.6328	C 10 mW	計測、民生機器
Ar イオン	0.5145 0.4880	C 10 W	民生機器、医療ディスプレイ
半 導 体	0.85 1.3, 1.55	C 5 mW P 50kHz 10 W	光 通 信 民生機器、測距
エキシマ	0.308 0.249 0.193	P 100Hz 10 MW	光 化 学 加 工
色 素	0.3~ 1.2	C 1 W P 10Hz 1 MW	分 光 分光、レーザーレーダー

C: 連続, P: 繰り返しパルス, Q: Q スイッチ, T: TEA 型パルス

昭和 60 年 2 月 18 日受付 (Received Feb. 18, 1985) (依頼解説)

* 新日本製鉄(株)電子・制御研究開発センター (Electronics & Control System R & D Lab., Nippon Steel Corp., 1618 Ida Nakahara-ku Kawasaki 211)

れている鉄鋼業が、更に新しいレーザー利用を開拓していくために、この辺で一度、レーザー利用の現状を概観するのもまた意味があると考え、依頼に従って短文をまとめてみた。何かの参考になれば幸である。

2. エネルギー源としてのレーザー利用

2.1 エネルギー源としてのレーザーの特徴

レーザーは多くの可能性を秘めた技術であるが、利用にあたってはその特徴に合った使い方をすることが必要である。

図1は各種熱源の比較であるが、レーザーの特徴を一言でいえば、エネルギー密度は非常に高いが出力は比較的小さいということである。高エネルギー密度の理由は、もともと密度が高く指向性にすぐれたビームを光学系で集光できるためであり、パルスやQスイッチ発振の場合、更に高くなる。一方、出力に関しては、構造と光学部品上の制約から現状の商用機は10kWオーダーで、この状況は当分変わらないと考えられる。

従って、マス及びマスフローが極めて大きい鉄鋼プロセスで、対象物全体の加工加熱熱源として使用することはまず無理である。高エネルギー密度という特徴を踏まえ、パルス発振可能、光学系による伝送集光が容易など、時間・空間的制御性の長所を生かすことが実用化の決め手で、自ら以下に紹介するように点・線・面への利用が基本になるであろう。

2.2 点状加工、加熱への利用

(1) 酸素溶剤の迅速着火

連続铸造-ホットチャージのためには、スラブ表面疵退治が必要である。酸素溶剤法は、鋼片表面に酸素ジェットを吹きつけ、鉄の酸化反応熱で傷部を溶剤する方法であるが、反応開始熱源としてLPGによる予熱を行っているため迅速なスタートができない。これに対し図2に示すレーザーを用いる方法が検討されており、着火速度は鋼片移動速度、温度、表面スケール状態、レーザー

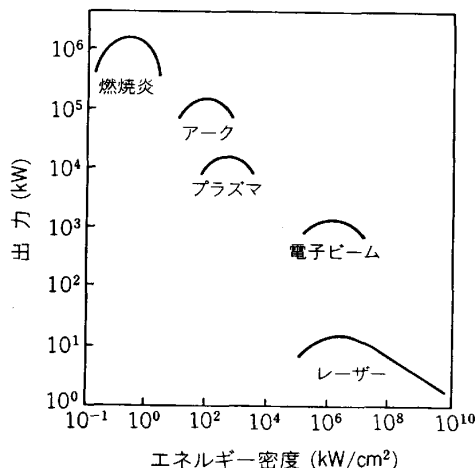


図1 各種熱源の出力、エネルギー密度の比較

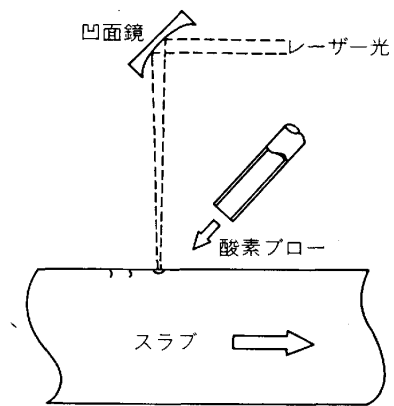


図2 レーザーによる酸素溶剤の迅速着火³⁾

出力できまり、現状のCO₂、YAGを用い、実操業条件での迅速着火が可能であると結論している。実験段階の報告であるが、欠陥検知技術が整備されれば、自動部分溶剤技術として将来実用化されうる技術であると考えられる³⁾。

(2) 電磁鋼板の磁区制御

近年、方向性製品の開発により電磁鋼板の特性は大幅に向上したが、エネルギー問題を背景にいつその改良が要求されている。高Si化、薄手化、製造法改良など特性向上のためのあらゆる対策がなされているが、電磁鋼板にレーザーパルス照射して磁区を細分化することにより鉄損減少に成功した例が報告されている⁴⁾。

図3(d)はこの方法の概念図で、YAGのパルスを光学系で集光、スキャニング照射をし、鋼板内に微小歪みを導入する。図3(b)はこの微小歪みを核に180°磁区が細分化された様子を示す。この結果ヒステリシス損が減少し、図3(c)にみられるように鉄損にして約10%特性が向上する。この方法は既に電磁工場で実機システムが稼働しており、レーザー磁区制御電磁鋼板製品が生産、出荷されている。

(3) 圧延ロール表面のダル加工

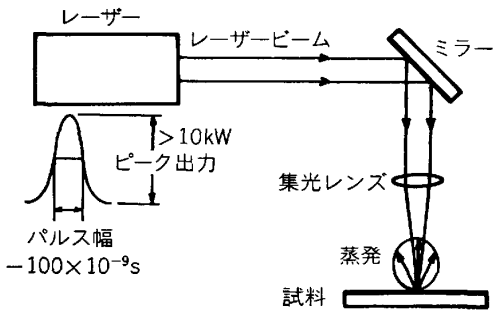
冷延薄板の表面粗さは、ロール表面プロフィールが転写されたもので、加工性、塗装美観など使用性能に関係する。現在ダル加工はショットブラストによって行われ、最近放電加工も採用されているが、レーザー加工を検討した例が報告されている。

図4に示すように、2kW CO₂レーザービームをパルス化して回転しているロール面にクレーターを刻んでいくもので、規則的なダル面が形成でき、粗さの振幅とピッチを独立に制御できる。冷延及び調圧用ロールを試作して試験圧延を行っており、現装置では加工に1~3hかかるのが問題であるが解決可能で、コスト面でも実用的であると報告されている⁵⁾。

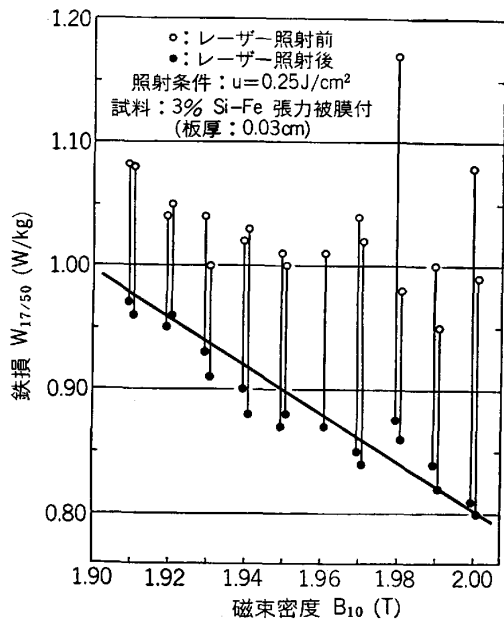
2.3 線状加工、加熱への利用

(1) コイル継ぎ溶接

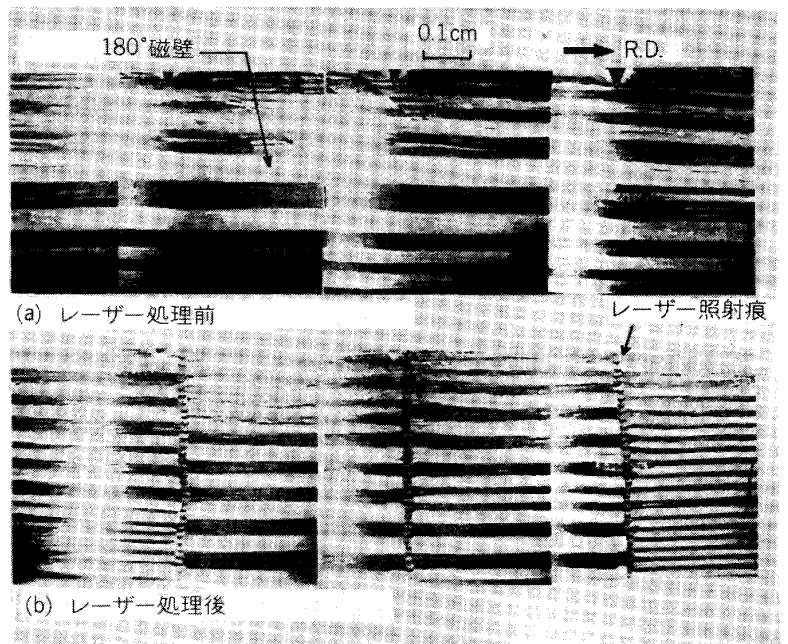
鋼板プロセスラインの連続化が進む中で、コイル継ぎ



(a) 電磁鋼板へのレーザー照射



(c) レーザー照射による鉄損減少 (単板試料)
 図 3 レーザー照射による電磁鋼板の磁区制御⁴⁾



(b) レーザー照射による磁区細分化 (SEM 像)

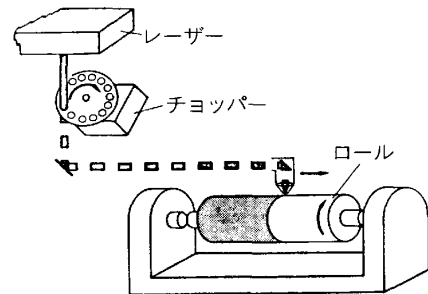


図 4 レーザーによる圧延ロール表面のダグ加工⁵⁾

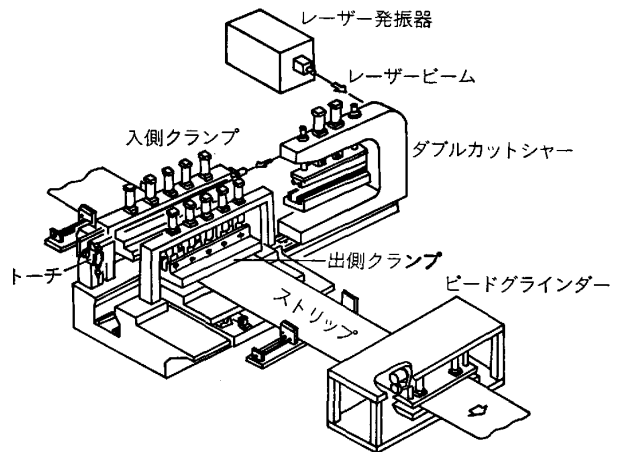


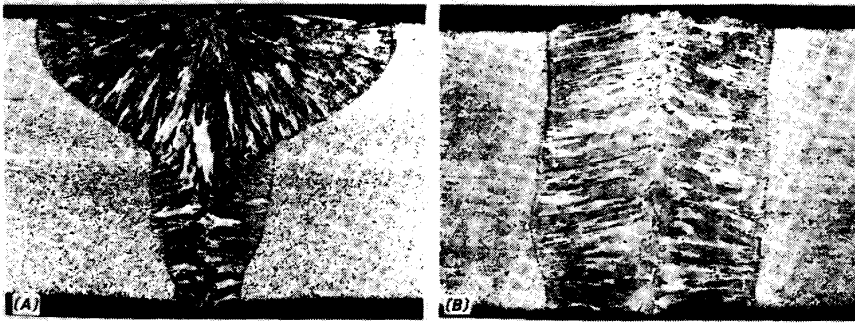
図 5 コイル継ぎレーザー溶接機⁶⁾

溶接がますます重要になっているが、現行溶接法には問題がある。例えば酸洗ラインでの熱延板溶接はフラッシュバットが主流であるが、珪素鋼や高炭素鋼では冷延時に継手部が破断することがある。このためレーザー溶接が注目され、実ラインへの導入も報告されはじめています。

図 5 は連続酸洗ライン入側に設置されたレーザー溶接機の概略図で、5 kW CO₂ レーザー、ビーム搬送・走査用光学系、フィラー供給装置、シャー・クランプ、ビードグラインダーから構成され、珪素鋼、高炭素鋼を含む広範囲の鋼種 (1.2~6.0 mm 厚) を対象に稼働中と報告されている⁶⁾。ちなみにレーザー溶接は非常に細いビーム (0.3~0.5φ) を用いるためビード幅が狭くなり、

溶接機各部の機械精度は従来のものに比べ格段に高いレベルが要求される。切断面形状、鋼板突合せに対し 1/10~1/100 オーダーの精度が要求され、これを確保するためのシャー・クランプ機構とビーム制御用光学系の開発がレーザー溶接機実用化のポイントである。

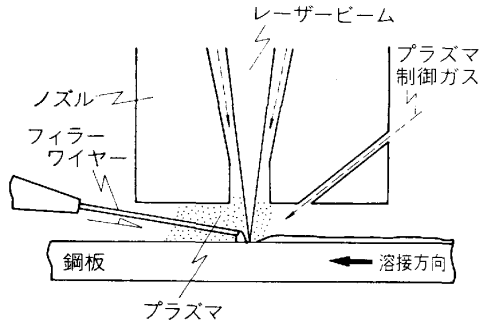
そこでこうしたエンジニアリング開発と併行して、要



試料：SUS304 3 mm t, ビードオンプレート
 レーザー：BOC FAF 2kW CO₂, 出力 2kW
 レンズ：KCL 75mm f.l., f.p. -1mm
 溶接速度：7.5mm/s

(A)(B)
 ガス流量：溶接ガス He 15 15 l/min
 制御ガス He 0 8
 プラズマ利用 (A) なし (B) あり

(a) 溶接継手部プロフィール



(b) フィラー使用プラズマ有効利用レーザー溶接法
 図 6 プラズマ有効利用レーザー溶接法⁷⁾⁸⁾

求機械精度を緩和するレーザー溶接法の検討も進められている。図 6 (a) は、蒸発金属、アシストガス、レーザービームの相互作用で発生するプラズマを有効に制御活用し、溶接ビード幅を広くする方法の報告例である⁷⁾。更にこの方法を適用して、図 6 (b) に示すようにフィラーを効率的に溶融し、突合せ間隙を埋めることによつて精度を緩和する方法も報告されている⁸⁾。

冷延や電磁鋼板の製造ラインで、コイル巻取り時の腰折や疵の原因となる継手段差をなくしたり、薄物での溶接時溶け落ちを防止するためにレーザー溶接を用いている報告もある⁹⁾。この場合も板厚が小さくなるほど突合せ要求精度が厳しく、設備コストを上昇させ自動化を困難にする原因となつている。

レーザー溶接機は開発後日も浅く、解決すべき課題も残つているが、従来法に対して設備コスト競争力もあり、レーザー溶接の特徴が生かされるラインを中心に実用化が進むことは間違いない。

(2) レーザー切断

レーザー切断は周知のように鋼板のカッティングマシンとして普及しており、CO₂ レーザーの用途の大半を占めている。しかし鉄鋼においては対象の板厚が厚く走行速度が速いため、今のところ実用報告例はない。これが実用されるかどうかは、現状のレーザーマシンの切断能力範囲内で、切断歪み、熱影響、カーフ幅が小さいレーザー切断の特長が生かされる用途をみつけられるかどうかにかかっている。切断技術そのものは基本的には確立していると考えられるから、利用を考える参考まで

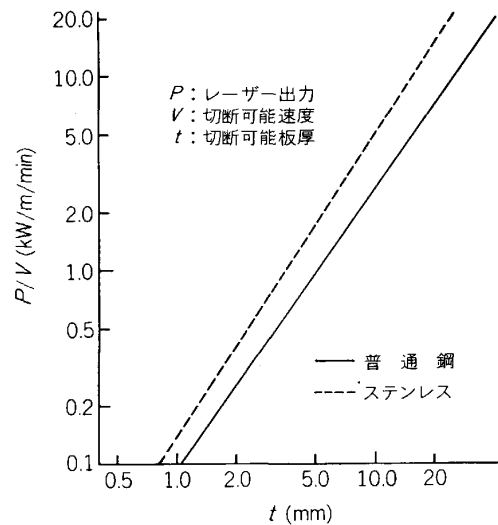


図 7 レーザーの鋼板切断性能
 (各社データの平均的な値)

に、図 7 にレーザー切断能力の概略を示しておく。

2.4 面状加工、加熱への利用

面熱源的利用の代表は熱処理で、表層あるいは局所の加熱、溶融を行い、耐蝕耐摩耗など表面特性の向上を狙うものである。鉄鋼メーカーでの利用としては、鋼材製品表面特性の高度化や製鉄設備工具の長寿命化が考えられるが、現在までのところ実用例の報告はなく、鉄のユーザーでの利用が先行している。

最も進んでいるのは表面焼入れで、急速加熱とワーク自身への熱伝導冷却により油、水等の冷媒を必要としない焼入れが可能で、多くの鉄鋼材料に対してその効果が調べられている。例えば自動車工業において、ステアリングギアハウジングの焼入れラインが稼働しており、1 kW 以下の CO₂ レーザーを用いハウジング内面に局部熱処理を施し、耐摩耗性向上に著しい効果をあげていると報告されている¹⁰⁾。

レーザー光とワークの相対速度をあげると冷速が大きくなり、ついには非晶質表面が形成できることを利用したレーザーグレーズング技術¹¹⁾や、表層に耐熱耐摩耗特性にすぐれた金属を加えて合金層を形成する、レーザー表面改質も盛んに研究されており、合金添加レーザーグ

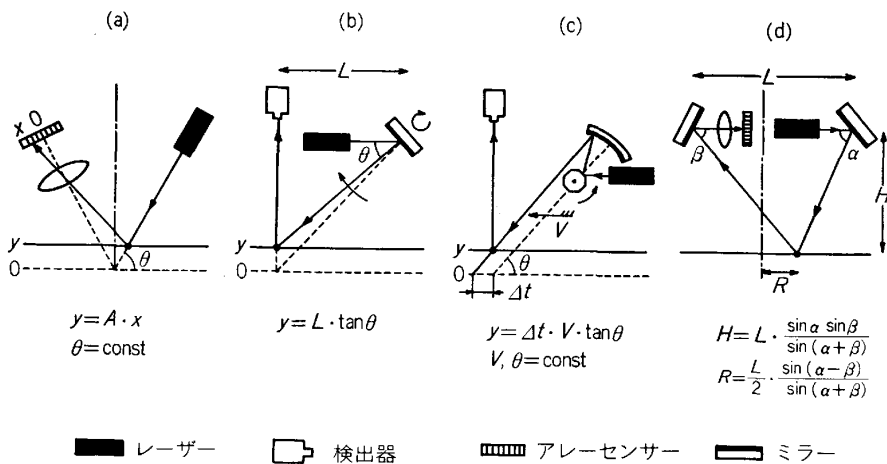


図 8 レーザー光切断法, 三角法による変位測定

レーズングによるタービンディスク試作等報告も多い。更にプラズマ溶射, めつきなどとレーザー処理の複合表面処理や, 気体を介在させて行う方法も報告されている。

鉄鋼における数少ない例として, 電気ぶりきラインにおける錫めつき用電極表面をレーザーアニーリングすることにより, プラチナめつき層とチタン面間の密着力が向上し, 電極寿命が3カ月以上延びたという報告がある¹²⁾。

レーザーによる表面処理は, 2, 3 の例を除いて研究段階であるが, レーザーマシンの大出力化も進んでおり, 今後の展開に期待したい。

3. 情報手段としてのレーザー利用

3.1 情報手段としてのレーザーの特徴

説明するまでもないが, 光としてのレーザーの特徴はコヒーレントということ, 計測や通信などの情報面への応用には, 次のような特長が用いられている。

指向性: ビームの広がり小さく直進する。

集光性: 集光が可能で, 高輝度, 高エネルギー密度が得られる。

干渉性: 空間, 時間的に位相が揃っており, 可干渉性が高い。

単色性: 波長スペクトルの幅が狭い。

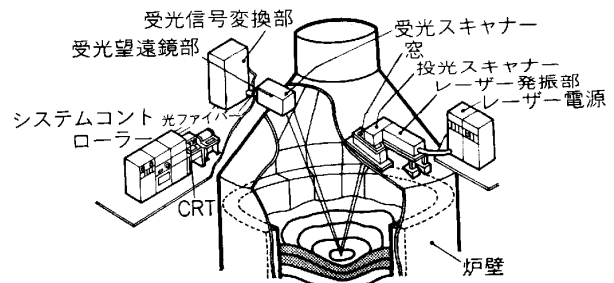
制御性: パルス発振, ビーム伝送など, 時間, 空間的な制御が容易である。

3.2 計測への利用

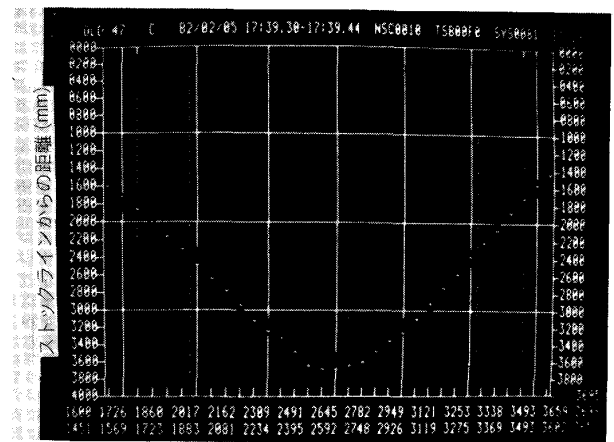
計測への利用をまとめてみると, 光切断法や三角法を用いた例が多い。技術的にはそれぞれの使い方や装置構成に特徴があり興味深いのであるが, 紙面の都合上図8に原理的方式を典型的にまとめておく。

(1) 製鉄工程における利用

高炉の高効率安定操業には原料装入制御が重要であるが, センサーである装入物プロフィールメーターにレーザーを用いた例が報告されている。図9(a)はレーザー式プロフィールメーターの概略図で, 投光部から発射され装



(a) プロフィールメーター概略図



(b) プロファイルの測定結果例 (コークス)

図 9 レーザー式高炉装入物プロフィールメーター¹¹⁾

入物表面で反射散乱したレーザーパルスを受光部で受光し, 発射角, 受光角の測定から, 図8(d)の方式で装入物表面位置を求める。YAG のジャイアントパルス (15 ns, 6 MW) を用いダストの多い炉頂部での測定を可能にしたこと, 受光部に光ファイバー・フォトマルを用いてアレーセンサーを構成していることが特徴で, 測定精度 ±30 mm, 測定時間 16 s/cycle, 図9(b)は測定結果例である。1号機は既に1年近く実操業に使用されており, 更に3基の実機設置を計画していると報告されている¹³⁾⁴¹⁾。

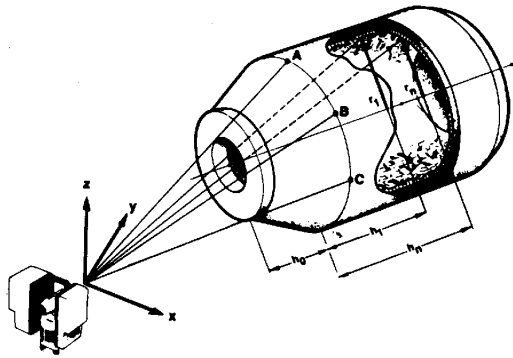


図10 転炉ライニングプロフィルの測定¹⁴⁾
(AGA-IMS 使用)

(2) 製鋼工程における利用

転炉寿命の延長、ライニングコストの低減は設備技術の重要課題であるが、ライニングの損耗状態を正確に把握するためにレーザー応用プロフィル測定装置が用いられている。装置は図10に示すように二つの周波数でAM変調した He-Ne ビームを走査し、反射光の位相測定からライニング形状を求める方式である。測定精度は $\pm 15\text{mm}$ でこれを用いることにより炉寿命延長に大きな効果があつたと報告されている¹⁴⁾。

連铸機ガイドロールアライメントの管理は、铸片品質確保上重要で、従来、測定作業員がロールの間に入って手作業で行っているが、安全と精度確保のためレーザーを用いている例が報告されている。測定システムは図11に示すが、He-Ne ビームを飛ばしてこれを基準線とし、計測ブロックに固定された二次元受光センサーで受光してロール間中心のずれ量を測定する。別に計測ブロックに設置した変位計と傾斜計でロール間隙と対向ロール中心間傾斜角を計測する。基準測定精度 $\pm 0.05\text{mm}$,

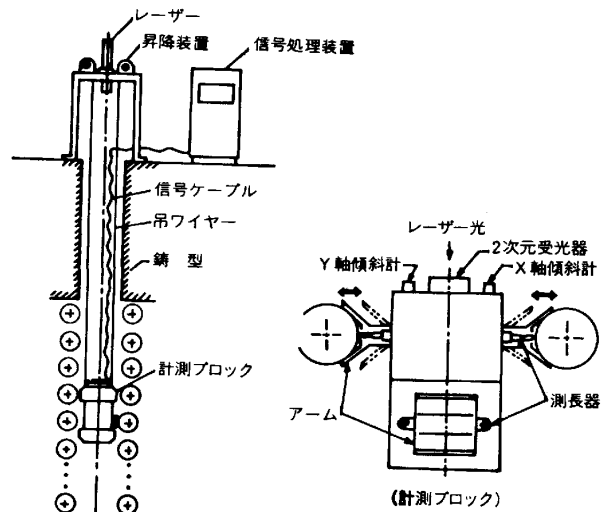


図11 レーザーによる連铸機ガイドロールアライメント¹⁶⁾

ロール間隙 $\pm 0.01\text{mm}$ 、傾斜角 $\pm 1'$ で、省力化、安全に貢献していると報告されている¹⁵⁾¹⁶⁾。

連铸と熱延を直結し省エネルギーと工程合理化を目指すホットチャージローリングのためには、疵なしスラブ製造技術と共に熱間欠陥検出技術の確立が必要である。光学法、誘導加熱法、渦流法などがあるが、図12(a)はレーザーを用いた検出法の原理図で、細く絞ったレーザービームを照射し反射光を斜から受光する。健全部では散乱光が受光されるが、開口欠陥部では受光量が著しく減少する。0.1φのAr(青色)ビームを用いることにより、900°Cまでの温度で、幅0.4mm、長さ100mm以上の疵の検出率はほぼ100%、過検率は数%である。図12(b)に示すように、スラブ端部を検査する渦

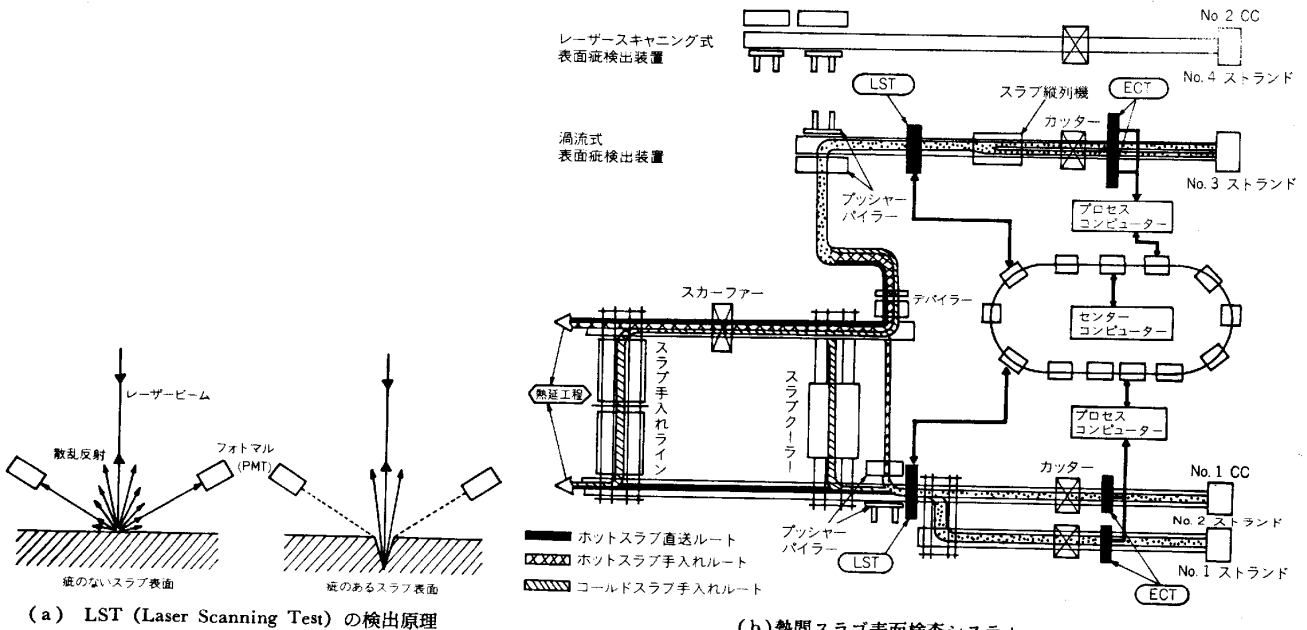


図12 レーザースキャニング方式熱間スラブ表面疵検出¹⁷⁾

流式疵検査装置 (ECT) と組み合わせた全面自動検査システムを稼働させることによりホットチャージ率が飛躍的に向上したと報告されている¹⁷⁾。

厚板圧延における幅出精度向上のために、レーザースラブ幅計が開発されている¹⁸⁾¹⁹⁾。いずれも光切断式変位計でスラブ両端面の位置測定をして幅を求めるもので、前者は図 8 (a) 方式で He-Ne 使用、後者は図 8 (b) 方式で半導体使用、連続鋳造機後面設置で $\pm 1 \sim 2$ mm の測定精度と報告されている。

(3) 圧延工程における利用

鋼板の形状測定にレーザー光を用いたものがいくつか報告されている。まず厚板の平坦度測定の場合は²⁰⁾²¹⁾、図 13 に示すように図 8 (a) の方式で、レーザービームを走査して光切断プロファイルを ITV カメラで受像、信号処理を行って平坦度を求める。振動の影響を少なくするため複数本のビームを同時走査している例もあり、いずれも実用化可能な測定性能を有すると報告されている。熱延薄板形状検出の例では図 8 (c) 方式のレーザー変位計を 2 個、板の走行方向に一定の間隔をおいて並べ、2 点の変位の同時測定から波高値と急峻度を測定する検出器を構成し、これを更に板幅方向に多チャンネルべて形状検出を行うもので、図 14 にみられるように運転員の目視判定との対応もよく、操業管理、形状制御に使用中と報告されている²²⁾。冷延においては、図 8 (a) の原理のレーザー変位計が電解清浄ライン出側に設置され、タンデムミルでの形状制御の効果確認に使用中と報告されている²³⁾。以上いずれも基本的に二次元プロフィール測定で、鋼板が一定距離走行してはじめて二次元的な測定が完了する方式であるため、板の振動が測定誤差となる。これを解決するため、図 15 に示すように二次元形状測定を瞬時に進行レーザーモワレ法が検討されている。パルス YAG と耐熱性モワレ格子を使用することにより、熱間オンラインで安定したモワレ縞を観察することが可能になったと報告されている⁴²⁾。

その他ホットストリップ巻取工程において、図 8 (a) の方式の距離計を用いてコイル端部巻形状を測定し、テレスコップ量算出、巻形状パターン判定をして、管理およびフィードバックを行っている²⁴⁾。同方式の距離計は鋼材幅計にも応用されており、熱間圧延中間粗ミル出側に設置されて、シートバーの幅を ± 1.0 mm の精度で測定、順調に稼働中と報告されている²⁵⁾。また焼鈍炉装入のルーズコイル巻取作業において、タイトコイル径を接触式で測定、ルーズコイル外径を力のかからない図 8 (b) 方式のレーザー距離計で測定し、無張力巻取制御を行って良好な結果を得ている報告もある²⁶⁾。このほか、熱延加熱炉内スラブ検出器として γ 線方式の代わりにレーザー式のものの実用化報告もみられる²⁷⁾。

冷延鋼板表面疵検出には、ふたつの代表的なシステムがあるが、いずれも基本的にはフライングスポット方式

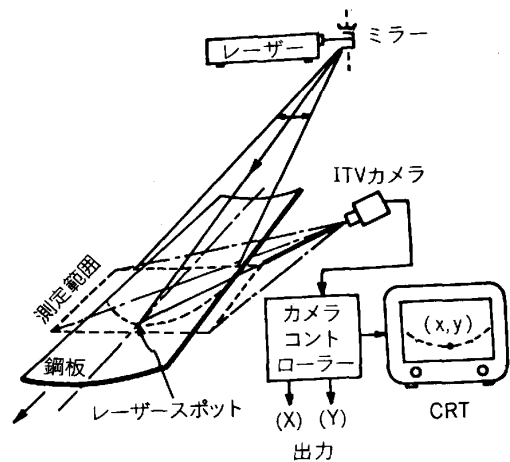


図 13 レーザー光切断による厚板平坦度測定²⁰⁾

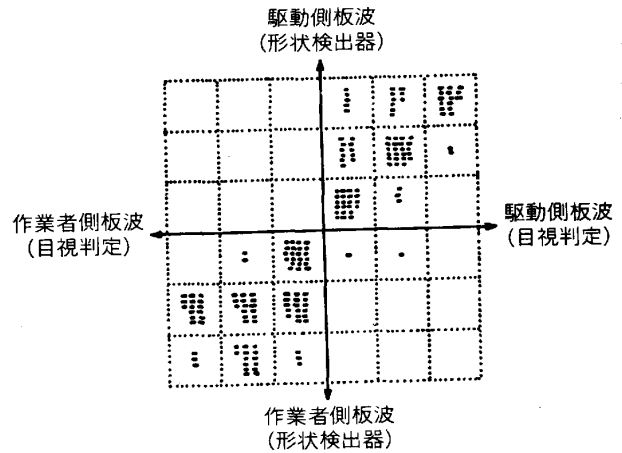


図 14 レーザー光切断による熱延鋼板の形状測定²²⁾

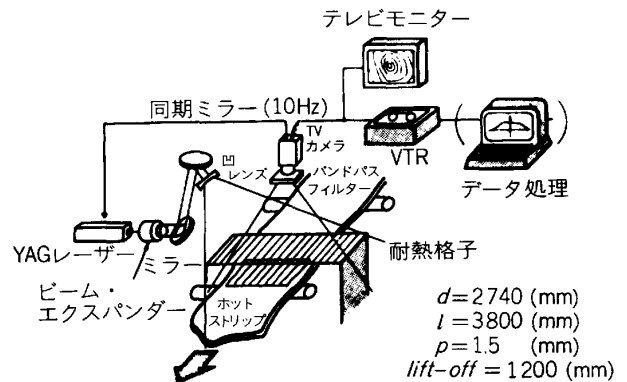


図 15 レーザーモワレ法による熱延鋼板の形状測定⁴²⁾

である。鋼板表面にビームスポットを照射した場合、一定距離はなれた観測面上の反射回折光分布は、鋼板表面上の反射光分布のパワースペクトルとなっており、一種の光学フーリエ変換が行われている。図 16 の方式では、2 個の検出部で正反射光と乱反射光を別々に検出し、おのおのの反射光強度値と二次元信号処理による疵の形状、分布特性から疵種、グレード判定を行っている⁴³⁾。一方図 17 の方式では、検出面にマスクを置き、反射回折光分布に光学的フィルタリングを行って疵検出

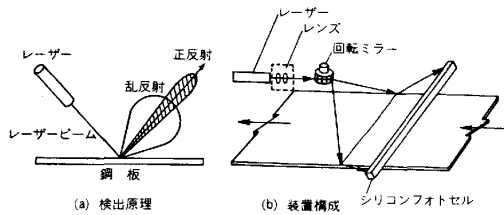


図16 レーザーフライングスポット式表面疵検出装置 (Dual detector 方式)⁴³⁾

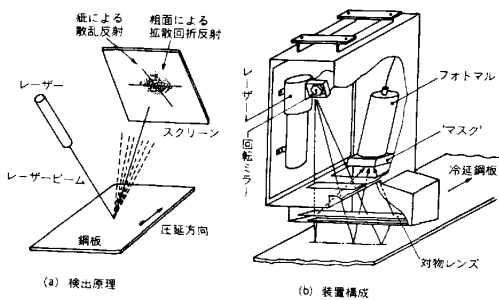


図17 レーザーフライングスポット式表面疵検査装置 (回折光マスク方式)⁴⁴⁾

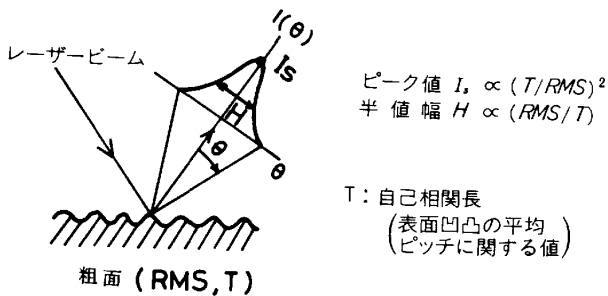


図18 鋼板粗面におけるレーザービームの拡散反射⁴⁵⁾

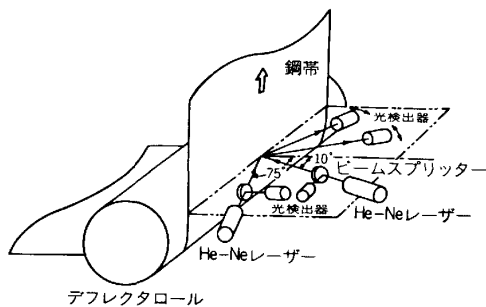


図19 レーザー式オンライン粗度計³¹⁾

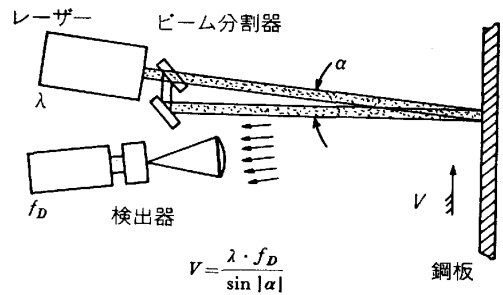


図20 ドップラー式レーザー速度計³³⁾

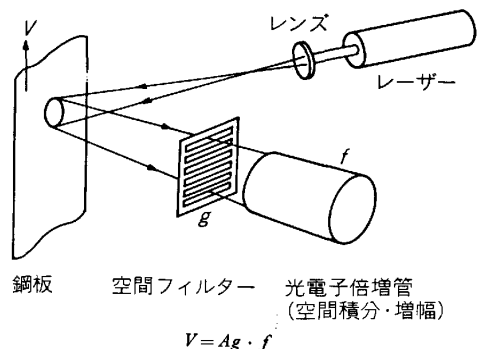
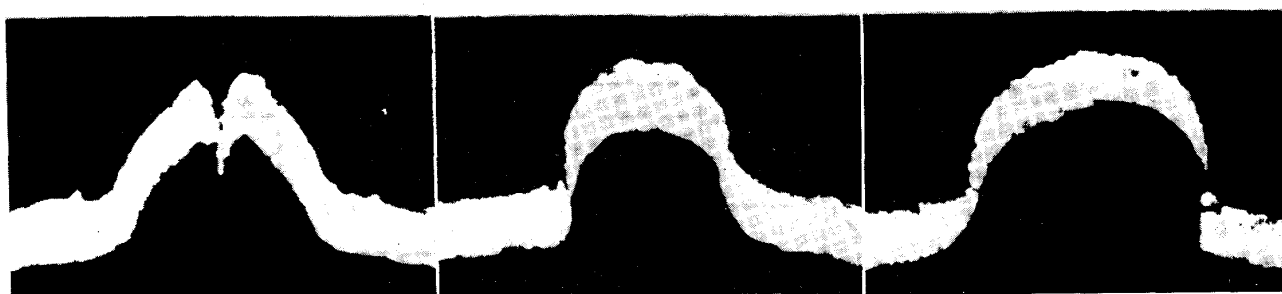


図21 空間フィルター式レーザー速度計³⁴⁾

性能を向上させている²⁸⁾⁴⁴⁾。両方式ともラインで多数実用されており²⁹⁾³⁰⁾、画像処理による検出率向上、疵種判別、過検率減少などの改良が続けられている。

表面粗さの測定にもレーザーの応用がみられる。図18の例では、粗面におけるHe-Neビームの反射挙動の解析から、鋼板面における拡散反射では、反射光分布は粗面の波高 (R_a or RMS) とピッチ (T) の比で定まることを明らかにし、粗度の絶対値を求めるには二波長のビームを使用するなどの対策が必要であることを示唆している⁴⁵⁾。そこで図19の例では、ビーム入射角を二通りにかえて、拡散的反射と鏡面的反射の二条件を設定することにより R_a と T を同時に測定するオンライン粗度計を開発し、プライト材用に実用中と報告している³¹⁾。また、製品表面は、冷延・調圧粗度の合成されたものであるが、レーザービームをスキャンし、図18の結果を応用した信号処理をすることにより表面美観を数値化するオンライン美観判定装置を開発し、検査員の目視判定とよく一致すると報告されている³²⁾。更に溶融亜鉛めつきプロセスにおいて、合金化が進行するに従って表面粗度が大きくなるのに着目し、図18に示すレーザー反射特性を利用して合金化程度を測定し、プロセス制御を行う試みが報告されている⁴⁶⁾。

圧延材の速度計としてふたつの方法が検討されている。ひとつは図20に示すレーザー Doppler 速度計で、一定角度傾いた2本のビームを入射し、ドップラシフトを受けた散乱光の干渉ビート周波数から速度を求めるもので、熱延鋼板、冷延鋼板、鋼管、線材等のラインで性能テストを行い、 $\pm 0.1\%$ の精度を確認している³³⁾。もうひとつは、図21に示すように、鋼板面に入

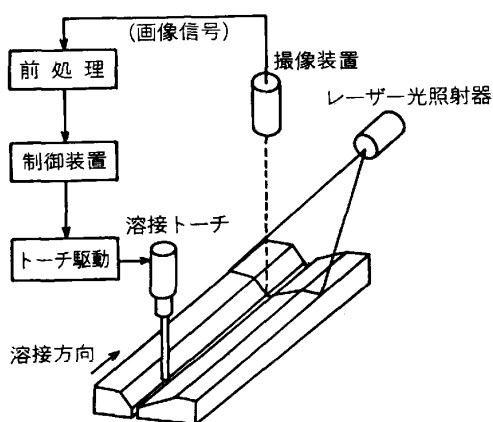
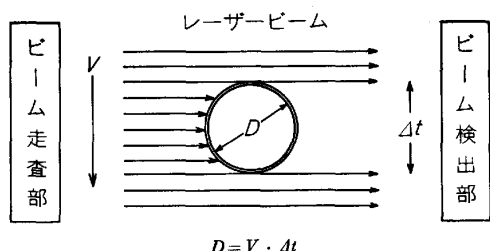


入熱小(不足)

入熱中(適正)

入熱大(過大)

写真 1 レーザー光切断法による電縫管溶接ビード測定

図 22 レーザーによる UO 鋼管溶接開先検出と
做い制御³⁵⁾図 23 レーザースキャン方式による鋼管、
棒鋼の外径測定

射したレーザービームの粗面による回折パターン（スペックル）の移動速度を、空間フィルター法を用いて測定する方式で、パスライン変動の小さい高速ラインでは、 $\pm 0.15\%$ の精度が得られたと報告されている³⁴⁾。

(4) 製品工程における利用

鋼管製造ラインで典型的なレーザー光切断法の利用がみられる。ひとつは UO 鋼管外面溶接時の開先検出の例で³⁵⁾³⁶⁾、He-Ne の扇状ビームを投射し、マトリックスカメラや ITV で開先像を撮し、画像信号処理によって開先中心を求めている。 $\pm 0.5\text{ mm}$ の精度の検出が可能で、図 22 に示すように、オペレーターの目視にかえて自動溶接を行つているとの報告もある³⁵⁾。電縫管ラインのビード形状測定の場合には、写真 1 に示すように $\pm 0.2\text{ mm}$ の精度でビードが検出され、この形状からヒケ

発生やメタルフロー立上角が推定可能なことから、従来の火色による判断にかえてオペレーターカイドになり得ると報告されている³⁷⁾。このほか、帯鋼のエッジ形状測定の見積りもある³⁸⁾。

鋼管や丸鋼片ラインでは、図 23 に示すように、一定速度でレーザービームを走査し、被測定物による影部分の長さから外径寸法を測定する方式の装置が製品品質保証用に実用されていると報告されている。

3.3 分析への利用²⁾

これまでの利用例の多くは集光性、指向性、制御性などの基本的な特性を用いているが、レーザーにはこのほかに単色性という特徴がある。ハード面においてもエキシマ・色素・半導体レーザーにみられるように、波長可変レーザーの開発や、赤外から真空紫外にわたる発振波長範囲の拡大が進められている。

波長可変のコヒーレント単色光が得られるようになったことは、分光分析用光源としても画期的な意味をもっており、まずレーザーラマン分光、レーザー誘起蛍光、光ガルバノ分光などで従来の分析法の性能を大きく向上させ、微小領域の分析や波長領域の拡大などの利点をもたらした。一方コヒーレント反ストークスラマン分光 (CARS) などの非線型分光を代表例とし、光音響分光 (PAS) や熱レンズ法 (Thermal Lensing) などレーザーの波長特性、空間集中特性を生かした新しい分光法も開発利用されつつある。更にレーザー分光技術を溶鋼などのオンライン分析に利用する試みも行われており、今後の実用化が期待される。

3.4 通信への利用

鉄鋼プラントにおける光通信の導入は 1978 年頃からは、最初は主として計算機間情報伝送用として始まった。情報量、伝送範囲の増大に対処するため、従来の同軸ケーブルに比較して光ファイバーのメリットが評価されいち早く採用されたものである。更にその後プロセス入出力伝送用として、運転室・プロセスコンピュータ・センサー・駆動装置を含むリアルタイムプロセス制御ループ内にも光伝送が組み込まれるようになってきている。

表 2 鉄鋼会社への光ファイバー納入実績 (1982. 3 現在)⁴⁷⁾

鉄鋼会社	適用システム	鉄鋼会社	適用システム
'77 新日鉄・基礎研	ラボラトリーオートメーション ○	新日鉄・君津	SIPS, BAF システム ●
'78 鋼 管	工程制御回路 ○	川鉄・千葉	製鋼 (MPCS-F) ●
'79 新日鉄・君津	SIPS システム (DFW) ●	川鉄・本社	本社ビルネットワーク (FOPIC) ●
?	熱延制御システム (データ伝送) ●	神戸・加古川	製鋼 (転炉) (MPCS-F) ●
川鉄・水島	出荷システム (データハイウェイ) ●	?	熱延制御システム (DFW) ●
住金・和歌山	電話, データ (データリンク) ●	?	冷延システム (DFW) ●
住 金	コンピュータリンク ○	新日鉄・八幡	設備診断 (データ伝送) ○
新日鉄・広畑	エネセン (計装システムデータ伝送) ○	新日鉄・八幡	工場内データ伝送 ○
新日鉄・堺	データハイウェイ, 光モデム電源 ○	新 日 鉄	構内プロセス, 光データフリーウェイ ○
新 日 鉄	構内プロセス制御伝送 (DFW) ○		送受信器, 光スイッチ ○
'80 新日鉄・堺	エネルギーセンター (光 MODEM) ●	鋼 管・福 山	データハイウェイ ○
新日鉄・君津	BAF システム (DFW) ●	鋼 管	監視システム ○
新日鉄・君津	TACS システム (DFW) ●	川 鉄	材管システム ○
新日鉄・八幡	環境監視 (アナログ, TV 画像) ●	川 鉄	電力監視システム ○
新日鉄・大分	転炉プロコン (TOSWAY) ●	川 鉄	データフリーウェイ ○
新 日 鉄	構内プロセス伝送 (DFW) ○	住 金	ITV, データ伝送 ○
新日鉄・大分	計算機間伝送 ○	中 山	光多重化装置, アナログ光送信器 ○
鋼 管	ITV 監視用 ○	愛 知	工場内データ伝送 ○
川 鉄	アナログ光リンク送受信端局 ○		
川鉄・水島	出荷システム ○	'82 川鉄・水島	大形鋼制御用 (DW) ●
川鉄・千葉	光データウェイ ○	日 新・呉	ホットストリップ制御用 (DW) ●
川鉄・千葉	製鋼システム ○	'83 新日鉄・広畑	ホットストリップ制御用 ●
住 金	構内プロセス, 光データウェイ ○	新日鉄・八幡	シームレス ●
	送受信器, 光スイッチ ○	鋼管・京浜	シームレス (MPCS-F) ●
'81 新日鉄・八幡	工程管理オンライン ●		
新日鉄・八幡	ホットストリップ制御用 (DW) ●		

● 電機メーカー6社 (東芝, 日本電気, 日立, 富士通, 富士電機, 三菱電機) 納入実績
○ 電線メーカー4社 (住友電工, 日立電線, 藤倉電線, 古河電工) 納入実績

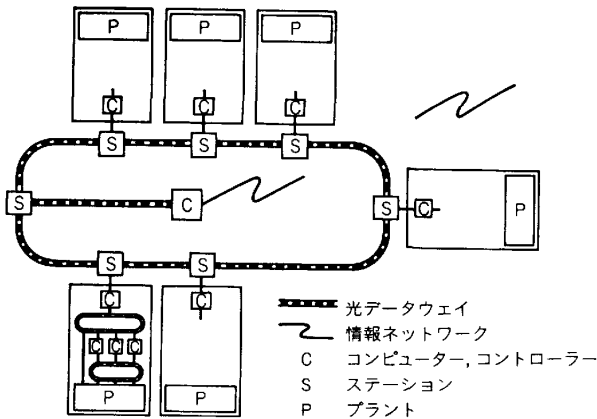


図24 製鉄所における光通信概念図

表2はメーカーの光ファイバー納入実績からみた光通信の使用状況であるが、信号伝送の高速性、信頼性やケーブル布設、保全の容易さなどの利点から、今後急速に普及していくと考えられる⁴⁷⁾。

図24は、現状もしくは近い将来における製鉄所光通信ネットワークの概念図の例であるが、物・エネルギー・情報のフローが錯綜する巨大複合体鉄鋼プラントの、高度情報化社会におけるあるべき姿を、光通信を軸に再検討して、いずれやってくる設備更新や新設に備える必要がある。

4. おわりに

鉄鋼業におけるレーザー利用の現状を、エネルギー応用と情報応用について、既発表の文献によつて概観した。前者に関しては筆者らの業務分野ということもあり、周辺で目につく話題を中心に、若干の見解を交えて解説した。後者については、鉄鋼協会計測部会の最近10年間の資料を中心に、総花的ではあるが特に取捨選択をしないで紹介した。

レーザーの導入当初、安全性に不安を感じ、米国のワークショップでの大胆な取扱いに驚いたのを覚えているが、最近では馴れたこともあり不安感も薄らいでいるように見受けられる。しかしレーザー利用、特にエネルギー応用はやつと始まつたばかりで、ここで万一事故などあるとレーザー利用の将来に大きな禍根を残すことになる。適切な安全対策と注意をすれば決して不安全なものでないことを強調すると共に、常に安全の初心にかえることを関係者各位にお願いしたい。

最後に直接、間接に貴重な文献を引用、参照させていただいた多くの方々に、紙面をお借りして心からの謝意を申し述べ、結言とさせていただきます次第である。

文 献

- 1) 桜井健二郎: 工業技術, 19 (1978) 4, p. 12
- 2) 経営システム研究所(株): レーザの応用と今後の展開 (1984)
- 3) 武田紘一, 南田勝宏, 儀間真一, 平川紀夫: 機械と工具 (1981) 6, p. 38
- 4) T. IUCHI, S. YAMAGUCHI, T. ICHIYAMA, M. NAKAMURA, T. ISHIMOTO and K. KUROKI: J. Appl. Phys., 53 (1982), p. 2410
- 5) J. CRAHAY and A. BRAGARD (CRM): Rev. Métall., 80 (1983), p. 393
- 6) 河合義人, 相原正樹, 石井功一, 田渕 衛, 佐々木弘明: 川崎製鉄技報, 16 (1984), p. 53
- 7) K. MINAMIDA, S. YAMAGUCHI, H. SAKURAI and H. TAKAFUJI: L. I. A. ICALCO '82 Proc., 31 (1982), p. 65
- 8) 中村泰三, 南田勝宏, 河野六郎, 高藤英生: 溶接学会全国大会講演概要 (1983) 33, p. 16
- 9) 佐々木弘明, 西山 昇, 坪井潤一郎: 川崎製鉄技報, 13 (1981), p. 423
- 10) C. WICK: Manufacturing Engineering (1976) 6, p. 35
- 11) E. M. BREINAN, B. H. KEAR, L. E. GREENWALD and C. M. BANAS: SME Technical Paper, MR 76-867 (1976)
- 12) K. SAKAI, R. YOSHIHARA, T. SAITO and H. NITTO: 3rd International Tinsplate Conference in London (1984) Oct., Paper No. 8
- 13) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第 80 回計測部会 (1982 年 3 月) 新日本製鉄(株) (私信)
- 14) 同上: 第 72 回計測部会 (1979 年 5 月) 川崎製鉄(株) (私信)
- 15) 同上: 第 76 回計測部会 (1980 年 11 月) 新日本製鉄(株) (私信)
- 16) 同上: 第 81 回計測部会 (1982 年 7 月) (株)神戸製鋼所 (私信)
- 17) 同上: 第 86 回計測部会 (1984 年 3 月) 新日本製鉄(株) (私信)
- 18) 同上: 第 77 回計測部会 (1981 年 3 月) 新日本製鉄(株) (私信)
- 19) 同上: 第 80 回計測部会 (1982 年 3 月) 川崎製鉄(株) (私信)
- 20) 同上: 第 73 回計測部会 (1979 年 11 月) 日本鋼管(株) (私信)
- 21) 同上: 第 75 回計測部会 (1980 年 7 月) 住友金属工業(株) (私信)
- 22) 同上: 第 87 回計測部会 (1984 年 7 月) 新日本製鉄(株) (私信)
- 23) 同上: 第 82 回計測部会 (1982 年 11 月) 住友金属工業(株) (私信)
- 24) 同上: 第 80 回計測部会 (1982 年 3 月) 川崎製鉄(株) (私信)
- 25) 同上: 第 86 回計測部会 (1984 年 3 月) 川崎製鉄(株) (私信)
- 26) 同上: 第 71 回計測部会 (1979 年 2 月) (株)神戸製鋼所 (私信)
- 27) 同上: 第 72 回計測部会 (1979 年 5 月) 住友金属工業(株) (私信)
- 28) 同上: 第 57 回計測部会 (1974 年 7 月) (株)東芝 (私信)
- 29) 同上: 第 56 回計測部会 (1974 年 3 月) 日新製鋼(株) (私信)
- 30) 同上: 第 86 回計測部会 (1984 年 3 月) 川崎製鉄(株) (私信)
- 31) 同上: 第 88 回計測部会 (1984 年 11 月) 川崎製鉄(株) (私信)
- 32) 同上: 第 73 回計測部会 (1979 年 11 月) 新日本製鉄(株) (私信)
- 33) 同上: 第 70 回計測部会 (1978 年 11 月) 川崎製鉄(株) (私信)
- 34) 同上: 第 61 回計測部会 (1975 年 11 月) 三菱電機(株) (私信)
- 35) 同上: 第 78 回計測部会 (1981 年 7 月) 新日本製鉄(株) (私信)
- 36) 同上: 第 87 回計測部会 (1984 年 7 月) 日本鋼管(株) (私信)
- 37) 同上: 第 78 回計測部会 (1981 年 7 月) 日本鋼管(株) (私信)
- 38) 同上: 第 64 回計測部会 (1976 年 11 月) 大同特殊鋼(株) (私信)
- 39) 同上: 第 66 回計測部会 (1977 年 7 月) 住友金属工業(株) (私信)
- 40) 同上: 第 87 回計測部会 (1984 年 7 月) (株)神戸製鋼所 (私信)
- 41) K. INAZAKI, T. NANGAI, Y. OKUNO, Y. FUJIMORI and H. KIMURA: Iron and Steel Engineer (1984) Jan., p. 28
- 42) 北村公一, 川島捷宏, 曾我 弘: 計測と制御, 19 (1983), p. 970
- 43) 東英電子工業(株): デテクトフローカタログ (1983)
- 44) 長尾幸男: 学振協力会報, No. 41 (1984) 3 月, p. 19
- 45) 高藤英生, 石田次雄, 草鹿履一郎: 鉄と鋼, 62 (1975), p. 679
- 46) 関屋武之, 辺見直樹, 増田正宏, 田中富三男, 井内 徹: 鉄と鋼, 70 (1984), p. 58, S1110
- 47) 長崎治夫: OHM 臨時増刊 (1982) 7 月, p. 212