

御手法を決定しなければならない。

このような状況のもとでロボスト制御や適応制御の適用が今後さらに進むであろうし、制御理論としてはモデリングのためのシステム同定手法や学習制御の研究が進むことが予想

される。また、制御系の設計段階ではCADの普及がさらに進むであろうし、制御系に要求される仕様をより直接的に扱う凸計画法を用いた数値的最適化アプローチが進むものと思われる。

5.5 インテリジェント化する品質計測

5.5.1 品質計測技術のトレンド

昭和61年の円高不況を契機として始まったバブル経済は需要家ニーズの高度化と多様化とをもたらし、鉄鋼業においても従来にも増して厳しい品質仕様が求められるとともに、少量多品種型の高付加価値製品の流れの中で、新たな品質管理項目が要求されるようになってきた。

一方、この間、電機業界においては、パソコンや家庭用ビデオカメラなどの一般家庭への爆発的普及を背景にして、急速な技術イノベーションが展開され、最先端のIC技術を用いたコンピュータやCCD素子など、鉄鋼用品質計測装置の構成にとって不可欠なインフラ技術が飛躍的に向上した。さらに、人工知能技術を背景としたAI技術やニューラルネットワーク技術に関する新しい方法論やサポートシステムが登場する中で、鉄鋼業における品質計測技術はこれらの新しい技術をいち早く取り込んで、より信頼性の高い実用計測技術へと脱皮した。

一般に、品質計測技術は、高エントロピーで情報を収集するセンシング技術と、情報を集約しエントロピーを圧縮する認識技術とからなっている。これらのコストパフォーマンスを高めることが品質計測技術の開発のキーとなる。昭和60年以降の品質計測技術の特徴は、コンピュータ技術や人工知能技術の進歩に支えられて、より冗長な情報をベースとしてより信頼性の高い情報を得るいわゆる“インテリジェント化”にあり、以下の大きなトレンドがみとれる。

- (1) パタン化 (時空間冗長性): 可視化, 画像処理, フラクトラル
- (2) 知能化 (判断冗長性): ニューラルネットワーク, AI
- (3) 複合化 (多元冗長性): センサフュージョン

本節では、昭和50年代に技術の萌芽を見、その後インテリジェント化への道を走ることによって実用化が急速に展開した光学的表面疵検査技術と、今後の鋼板の表面品質管理の中で新しいシーズ技術として、特に“複合化”の視点から展開が期待される表面性状計測技術をピックアップして概観する。また、非破壊検査技術の分野で、“ロボストかつ高精度”な探傷技術の実現に向けて、特に信号処理をベースとした“インテリジェント化”が促進された超音波探傷の分野の技術の流れについて整理する。

5.5.2 インテリジェント化が加速する表面疵検査

検査員の目視検査に代替する光学的な表面疵検査は、食缶、自動車、家電製品の旺盛な需要と、消費者ニーズの高度

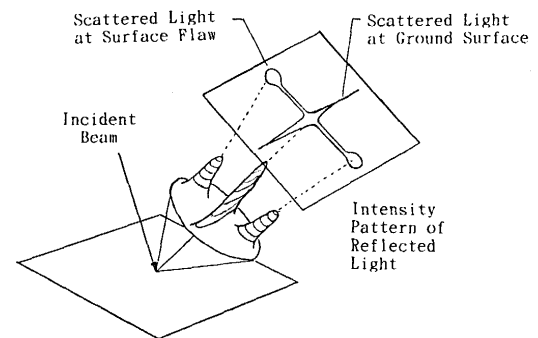


Fig. 5.31. Scattered pattern of reflected light at surface flaw.

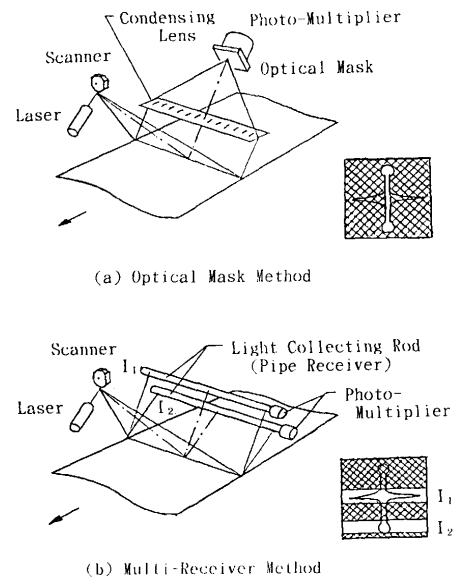


Fig. 5.32. Optical system of the surface flaw detector.

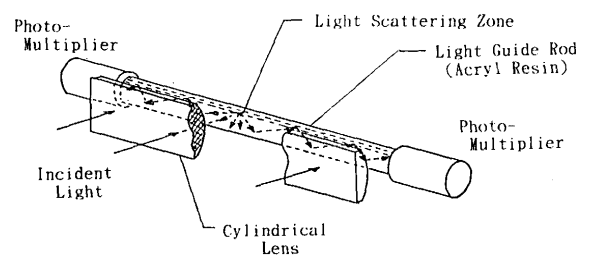
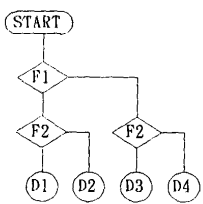
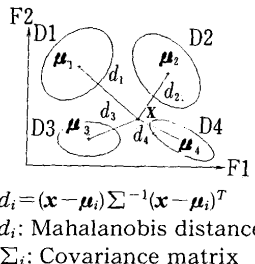
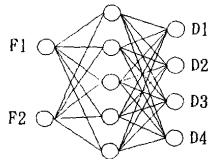
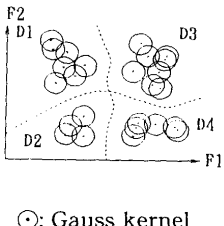


Fig. 5.33. Principle of the pipe-receiver.

Table 5.2. Recognition techniques of surface flaw inspection for cold rolled sheets.

Classifier	Tree logic (AI)	Statistic pattern recognition ²⁾	Neural network (back-propagation)	Probabilistic neural network ³⁾
Algorithm				
Self-learning	×	○	○	○
Discriminator	Linear	Linear	Non-linear	Non-linear
Tuning time	×	△	△	○

F1, F2: Feature of flaw, D1~D4: Class of flaw.

化、多様化に伴う厳しい品質要求を背景として、昭和60年以降、特に薄板の分野において実用化と改良とが重ねられ、急速にオンライン品質管理装置として定着してきた。

冷延・表面処理鋼板の表面疵検出原理は、表面性状の微妙な異常を強調して捕らえられるよう、Fig. 5.31に示すような光の散乱パターンを評価する方式が当初より採用されている。この原理をベースとして、毎分数百~千数百mで走行する鋼板表面の疵を0.5~1mmの分解能で全面検査するために、検出光学系として、昭和50年代に提案されたFig. 5.32に示す二つの方式が基本的な構成として現在も踏襲されている。ただし、この間、Fig. 5.32(b)の複眼方式については、Fig. 5.33に示すパイプレーバの出現によって、従来のレンズ集光・ファイバ集光・散乱箱方式に比べ、受光感度の均一性の向上と、これに伴う検査幅の拡大が可能となり、一時期すたれかかっていたこの方式が再度見直されつつある点が特筆される。

当初、錫鍍金鋼板向けに導入された疵検査装置は、その適用範囲をCAL、リコイル、CGL、ステンレスへと拡大し、これに伴ってしだいに、疵検出の信号レベルを規定する検出対象疵について、その種類の多様化と検出サイズの微細化が要求され、また同時に、ノイズレベルを規定する下地の表面性状についても、表面粗さやメッキ目付量など多様な表面仕上げの製品について対応する必要が生じてきた。このような要求に対して、疵検査の前処理の段階で、下地のノイズレベル変化に対する疵弁別レベルの自動設定や、微小疵検出のための画素サイズの細分化、あるいはロールマークや押し疵の様な周期性欠陥検出のための自己相関検出技術などが開発され、その検出能が着実に向上してきた。

一方で、検出対象疵の多様化は自ずと疵認識技術の高度化に対する要求を惹起する。Table 5.2に代表的な疵認識技術を示す。一般に表面疵検査は官能検査の極致であり、したがって、「いかに視るか」の重要性もさることながら、「いかに判断するか」という疵種判定・等級判定の技術によって検

出性能が大きく左右される。究極のパターン認識は「人間の認識である。人間のもつ大局的監視と局所的分析の機能やフレキシブルな学習機能を組み込んだ「インテリジェント」な疵認識技術が試みられるようになってきた。

特に学習機能については、折しも昭和60年代初頭に始まったニューラルネットワークフィーバの影響もあって、バックプロパゲーション方式の学習が導入された。しかしながらこの方式は、学習に要するサンプル数と学習時間に関する冗長性と非効率性を本質的にはらんでおり、また、基本的には過去の学習結果を忘れつつ適応していく方式であることから、過去の判別結果についての保存性に関する保証がない。これらの問題を解決するために、最近、PNN (Probabilistic Neural Network) を用いた学習方式¹⁾が試みられている。この方式は、各サンプルデータの近傍に設定したガウス核を合成してそれぞれの疵種の確率分布を作成し、判定すべき疵について、この分布に基づいて最も確率の高い疵種と判定するものであり、判定精度の向上と判定ロジック調整期間の短縮を実現している。

こうした努力の結果、冷延・表面処理鋼板用の表面疵検査装置はその検出能を確実に向上させている。今後、適用対象の拡大と検査員代替機器としての定着を確実にするため、さらに以下の開発が望まれている。

- (1) 疵検出の性能をさらに向上させる高感度な疵検出原理の提案
- (2) コストパフォーマンスに優れた廉価な検査装置構成方法の検討

5.5.3 新センシング手法の実用化が相次ぐ表面性状計測

表面粗度、光沢度、色調や、塗油、被覆の膜厚など、いわゆる鋼板の表面性状は、美観のみならず、塗装性、加工性、

¹⁾ 毛利ほか: 光学検査における表面疵の定量化, CAMP-ISIJ, 6 (1993), p. 1242.

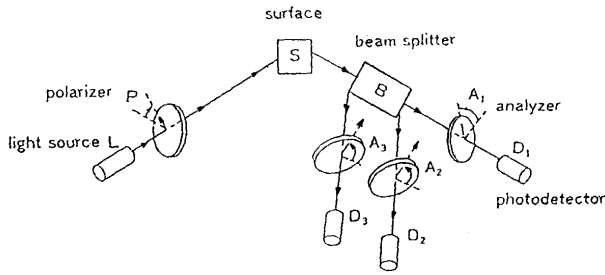


Fig. 5.34. Schematic optical system of 3-channel ellipsometer.

溶接性、耐食性などの特性と密接に関連しているため、重要な指標として管理されている。従来、一般にこれらの指標は、鋼板の先後端におけるサンプルのオフラインテストによって管理されてきた。しかしながら、近年の製品品質に対する要求の高度化や、製品歩留まりのさらなる向上を目的として、表面性状に関する全長オンライン検査が求められるようになってきた。

これからの計測のオンライン化に際しては、一般的には従来から行われてきたオフライン計測方式をベースとして、これにパスライン変動や下地の変化などの影響を除くエンジニアリングを加味して構成される。例えば、自動車用防錆鋼板として需要の拡大して来た有機被覆鋼板の塗膜厚（膜厚：約 $1\mu\text{m}$ ）の測定装置として、ランバートベールの法則に基づいたCH基の赤外線吸収量の測定（波長： $3.4\mu\text{m}$ ）によって行う方式をベースとし、偏光赤外線をブリュースタ角で入射することにより塗膜表面反射光の影響を除去する方式が実用化された。

また一方では、光沢感や色調など、従来検査員の官能検査に頼って行われていた測定のオンライン計測の試みも行われている。特に、ステンレス鋼板の光沢感の測定方法として、JISの鏡面光沢度と白色度とに対応する白色光源の正反射強度と拡散反射強度とに加えて、物理光学的な表面情報としてレーザ正反射強度を用いて光沢感の自動等級判定を試みた例²⁾が報告されている。

こうした表面性状のオンライン測定技術の中で、表面の光学的な物理現象に立ち返って、オンライン計測とは視点を変えた新しいセンシングの方法論を提案し、実用化に成功した例として、以下の二つの事例が特筆される。これらはいずれも昭和60年前後に方式は提案され、その後のエンジニアリング的な改良を経て、実用に至っているものである。

(1) 高速エリプソメータによるオンライン塗油量計

エリプソメータは、数十～数百Åの極薄膜の膜厚測定によく用いられる装置であり、入射した光が薄膜部で多重反射することによって偏光状態が変化する現象を利用して、膜の屈折率と膜厚とを同時に測定する機能を有する。しかしながら、この装置は一般に測定に当たって、偏光子あるいは検光

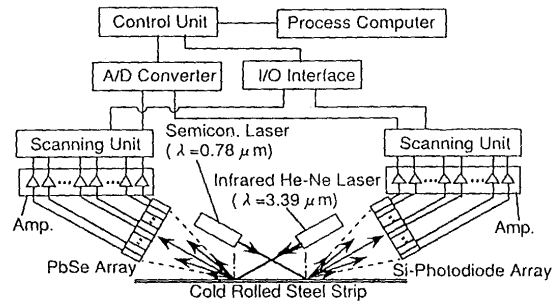


Fig. 5.35. Configuration of the on-line surface roughness measuring system.

子の機械的な回転を伴うため、オンライン機器としての使用は不可能であった。

これに対して、Fig. 5.34に示すような可動部のないエリプソメータ³⁾が新たに考案され、ETLのオンライン塗油量計として実機化された。この方式は、方位角 -45° の直線偏光を入射し、反射してくる楕円偏光の偏光状態を三つの異なる方位角をもつ検光子の透過光量を同時に測定・演算して求めることにより、リアルタイムでの膜厚の出力を可能とした。錫鍍金鋼板上のDOS油の膜厚を、ハイドロフィルバランス法との比較において、 2σ で $\pm 1\text{ mg/m}^2$ の精度で測定できることが確認されている。

エリプソメータは、膜厚と屈折率とを同時に求めることができるので、膜の成分によらず検量線の変更の必要がないという実用上の利点に加えて、表面性状計測のシーズ技術という視点で見た場合にも、光の波長の選択と組み合わせによってさまざまな測定のバリエーションが考えられるという特徴を有しており、この性質を利用して、膜厚計測時の鋼板の下地の光学特性の違いの影響を二つの波長の測定結果から補償する方式や、測定レンジを拡大するべく波長 $1.55\mu\text{m}$ の近赤外レーザを採用し膜厚 $1\mu\text{m}$ の有機複合樹脂鋼板の樹脂膜厚測定に適用した例が報告されている。

(2) Beckmann 理論に基づくオンライン鋼板表面粗度計

鋼板表面粗度の光学的な評価方法として、冷延鋼板の表面形状の統計的特性が Gauss 過程であるという仮定のもとに、不規則面における光反射特性を統計的に扱った Beckmann の理論に基づいて表面粗度と光散乱特性の関係についての詳細な解析がなされ、その結果、鋼板表面に波長 λ のレーザを入射角 θ で照射したときの正反射強度から表面粗さ R_a を求める条件として、以下の関係が見いだされている⁴⁾。

$$g < 4 \dots\dots\dots(5-41)$$

$$g = (4\pi\sigma \cos \theta / \lambda)^2 \dots\dots\dots(5-42)$$

(σ は表面の凹凸分布の標準偏差を、または g は光の波長と入射角で正規化した凹凸分布の分散を表す。冷延鋼板表面では $\sigma = 1.25 R_a$ が成り立つ。)

³⁾ 宮崎ほか：オンライン用高速エリプソメータの開発，SICE 論文集，24 (1988)，No. 7，pp. 670-677.

⁴⁾ 浅野ほか：冷延鋼板の光反射特性解析とそのオンライン表面粗度測定への応用，「鉄と鋼」，70 (1984)，pp. 1095-1102.

²⁾ 館野ほか：光沢度白色度計を用いたステンレス鋼板の光沢感評価方法の開発，CAMP-ISIJ，6 (1993)，p. 1250.

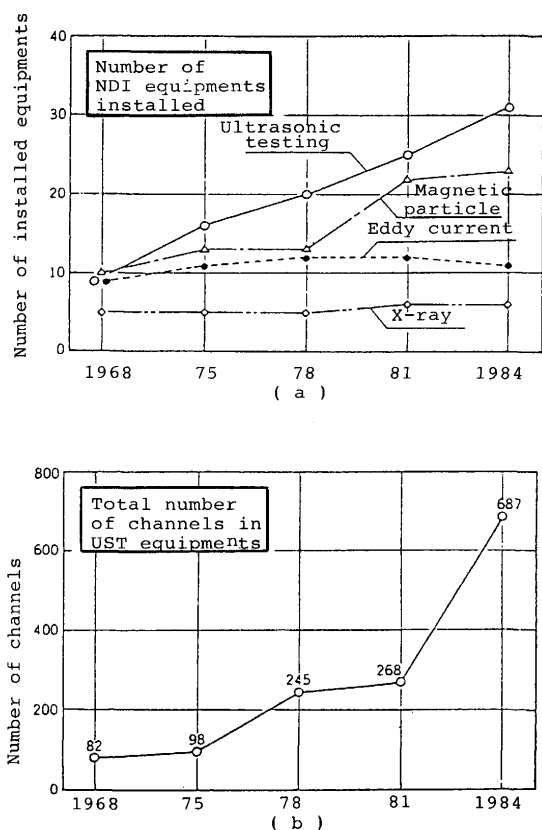


Fig. 5.36. Increase of NDI equipments at NKK, Keihin.

この結果に基づいて Fig. 5.35 に示すような錫鍍金原板用のブライト材/ダル材兼用のオンライン粗度計が実用化された。この装置は(5-41)式を満足するよう、ブライト材($R_a=0.2\sim 0.4\mu\text{m}$)用に $\lambda=0.78\mu\text{m}$ 半導体レーザとSiフォトダイオードを、またダル材($R_a=0.4\sim 1.0\mu\text{m}$)用に $\lambda=3.39\mu\text{m}$ の赤外He-NeレーザとPbSe素子アレイとをそれぞれ投受光素子として用いており、触針式粗度計との対比においてブライト材/ダル材ともに $\pm 10\%$ の精度が確認されている。

光学的な表面疵検査を含め、鋼板の光学的な表面性状計測は、基本的には、鋼板表面における光の変角光度特性(スペクトル特性、偏光特性を含む)をベースとして行われることから、これらの二つの物理光学に根ざした検討および開発の成果は、今後の表面性状計測のインテリジェント化への貴重なシーズ技術を提供したものと評価される。

5.5.4 自動化探傷装置の普及と高度化する自動概念

鉄鋼製造プロセスにおける不可欠な品質保証・品質管理手段となった非破壊検査装置にあって、F. Allen に倣う「Only Yesterday」は、その品質要求の高度化と生産の効率化の課題を止揚する、オンライン探傷システムの普及に始まる。Fig. 5.36(a)は、NKK 京浜製鉄所における非破壊検査装置稼働台数の変化を示したもので、1980年代初頭における超音波探傷(以下、UST)装置の増設、特に Fig. 5.36(b)に明らかかなように、そのチャンネル数の激増を見た。USTが品質保証上、重要な役割を担い、さらにその適用領域を拡大して

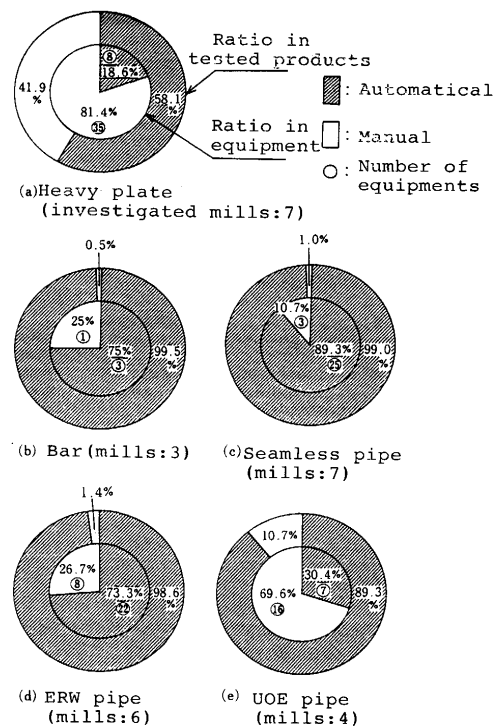


Fig. 5.37. Ratio of automatization in ultrasonic testing for quality assurance of products. (Tetsu-to-Hagané, 73 (1987), p. 1317)

いった時期でもある。このことから、非破壊検査技術の内、以下は特にUST技術における変遷に言及する。

さて、UST装置のチャンネル増は、高生産性を追及する新鋭継目無管および電縫管ミルにおける、管直進・回転探傷子法によるオンライン高精度・高速度探傷装置の設置によるものである。もとより、オフラインにおいては、多くの自動装置が稼働していたものの、そのオンライン化を達成したものである。装置は、著しい高速性を具備し、ために多チャンネル化に大規模化しその膨大な情報処理にハイアラキー化するコンピュータ構成によってシステム化、さらには、探傷結果の品質情報管理のためのオンライン・ネットワークに取り込まれ高度化する一方、探傷作業そのものは標準化され、主体が監視業務になった。Fig. 5.37に示すように、1987年現在、棒鋼、継目無管、および電縫管の対象材のほとんどが自動装置によって探傷にされるに至っている。

この間、高速性と精度、あるいは高性能と信頼性の両立に、「自動化の概念」は拡張され、新設ごとに具現化され、現在にあっては、一つの普遍化されたものとなった。それは、①多チャンネル・多機能構成に対応する自動初期設定と校正、②試験材間および試験中での実時間条件補正、さらには③システムとしての自己診断による異常、故障管理を包含するものである。探傷精度と信頼性の確保に論理上、徹底的な合理性が追及され、機能化された。

5.5.5 非破壊による探傷から材料評価へ

オンライン自動USTシステムの新設が続く中において、

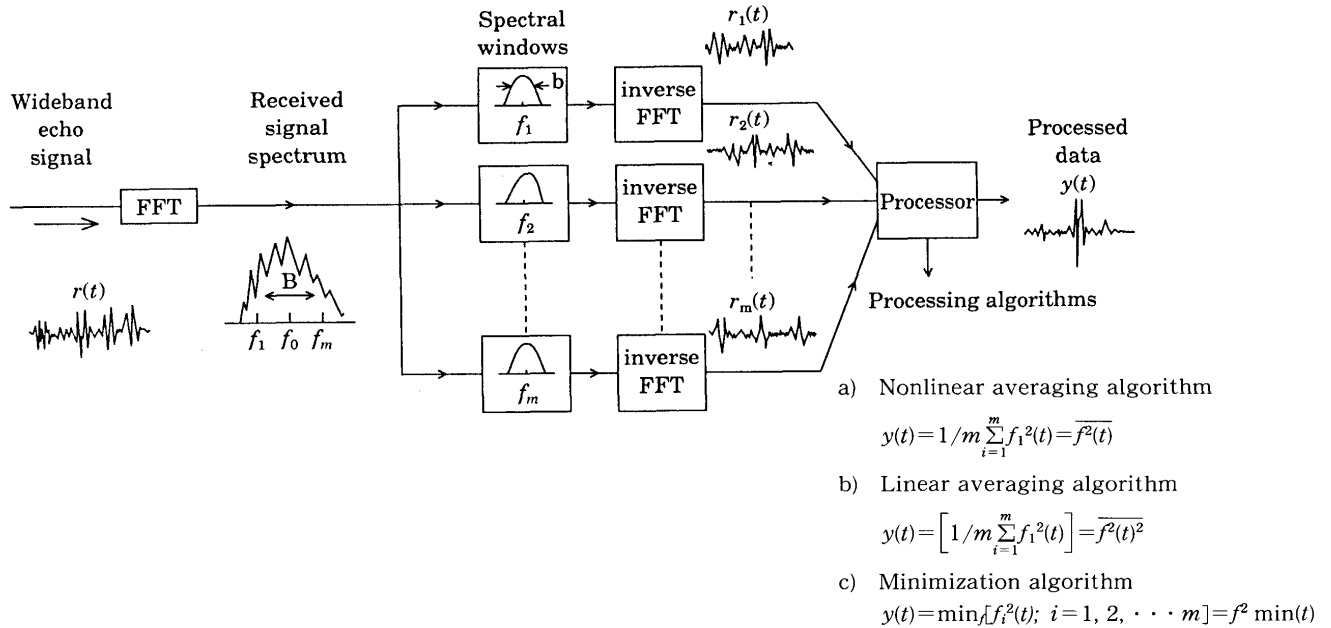


Fig. 5.38. Split spectrum processing technique.

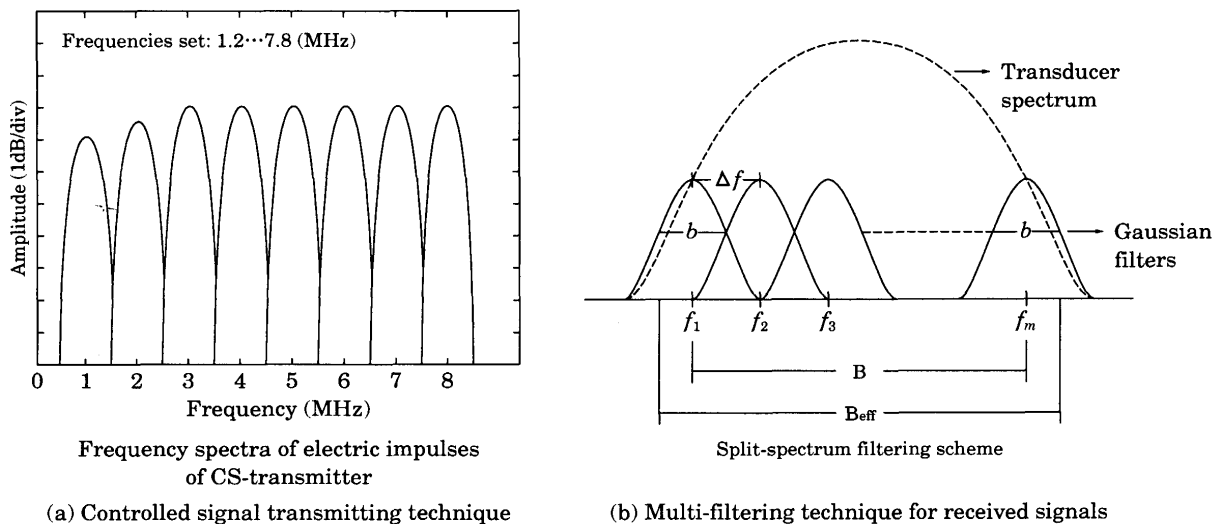


Fig. 5.39. Signal processing for enhancement of S/N in frequency domain.

1985年代には新たな課題に直面することになった。従前の大量生産志向から①多品種、少ロット生産体制への移行、②寒冷、強腐食環境下の油井管あるいはラインパイプに対するHi-Niなど高合金鋼、二相ステンレス鋼および二重管といった新鋼種・新製品への高付加価値化の迫及で惹起された、製品仕様に柔軟に対応可能なシステム機能の向上と、いくつかの新製品に見られる探傷性能不足の課題である。これに対しは、既得自動USTシステムは異形に肥大化し、硬直化したものと映った。

1986年冷牽管サブラインに稼働した探触子固定・管回転方式の自動システムにあっては、そのキーワードを従前の「高精度・高速度」から「多目的高精度」に替えた⁵⁾。油井管・ラインパイプの探傷に、方法において縦疵と横疵、ラミネー

ション探傷および肉厚測定、また、走査速度に絡む探傷パルス密度、有効幅、カバー率など、その条件による多モード探傷を可能としたもので、客先仕様に応じて選択する。先に述べた高速探傷システムと合わせ、柔軟性ある多目的型システムとの機能分担による品質保証体制を構築しようとするものであった。

一方、圧延条件によって一部鋼種の高合金鋼に見られた、従来の炭素鋼や低合金鋼と超音波特性が異なる難探傷性の問題は、粗大結晶粒による超音波の減衰と林状エコー（グレイノイズ）の発生に起因するものであった。用途上品質保証の要求レベルは高く、そのための高感度探傷はS/N（信号対雑音比）を悪化させ、この種難探傷材に、従来の探傷技術の延長では十分に対応できず、新たな方法論の構築が模索された。注目されたのは、超音波伝播における周波数特性の結晶粒異存性にあった。1982年、N. M. Bilgutay, J. Saniie によ

⁵⁾ 西藤、中野ほか：製鉄所における品質評価システム、「NKK技報」(1989), No. 125, pp. 22-31.

る SSP (Split-Spectrum Processing) システムは、難探傷材に対する S/N 向上に有効な方法を与えるものとなった⁶⁾。Fig. 5.38 に示したように広帯域送信における受信信号のスペクトラムを、いくつかの中心周波数の異なる狭帯域バンドパスフィルタで分割し、それぞれの信号を用いて、線形あるいは非線形加算平均または最小値演算を行うものである。このようなスペクトラム操作とアルゴリズムによる信号処理は、高速コンピュータの出現に依拠するところ大であるが、未だ時間を要し、あくまでも実験室的、オフラインでの解法ではある。

しかし、SSP 方式の S/N 向上における有効性の実証は、自動探傷システムにおける超音波送・受信における周波数処理、実時間での周波数帯域の最適化による S/N 向上に注力させることになった。欠陥信号の周波数帯域がグレイノイズのそれと多少とも異なる場合、S/N における送信部での狭帯域パルス送信によるあるいは受信部での狭帯域バンドパスフィルタによる最適化が可能であることに依拠する Fig. 5.39 に示す二方式の装置が実用化された。

送信周波数の最適化に関しては、日新製鋼(株)における TIG 溶接によるオーステナイト電縫管溶接部の自動探傷システムに導入された CS (Controlled Signal) 方式がある。オーステナイト溶接部の凝固粗大結晶組織に対する S/N の向上を図ったものであるが、Fig. 5.39(a) のように狭帯域周波数での送信を選択的に行うものである⁷⁾。今一つは、前述した冷牽管での多目的探傷システムに応用されたマルチフィルタ方式である。Fig. 5.39(b) の SSP 方式を単純化し、オンライン・システムに必須な実時間性をいくつかのアナログ狭帯域バンドパスフィルタで実現し、材料特性に応じて選択するものである。装置構成はそれだけ複雑になるが、方法論としては明確である。これに関して、P. M. Shankar らは、通常 Rayleigh 散乱則に従う結晶組織にあれば、その粒界反射によるグレイノイズは、単にバンドパスフィルタで抑制され、著しく探傷性は向上する⁸⁾、「何も複雑な信号処理はいらない」と論及している。Fig. 5.40 に示すノイズおよび欠陥の周波数特性から、中心周波数 f_{c1} のような受信欠陥信号の低周波側にバンドパスフィルタを設定しようとするものである。

ところで、後者の方式の適用において、その前提条件について見るに、例えば、Fig. 5.41 は熱間圧延条件の若干異なる二相ステンレス鋼管のミクロ組織と深さ 5% (肉厚比) のノッチ疵、グレイノイズのスペクトラムを示したものであ

るが、(a) はそれぞれの周波数帯域にわずかの差異があり、上記に従うバンドパスフィルタの設定により、S/N の向上に有効であった。しかし、(b) の場合には、相互に完全に重複し、フィルタリングの効果に大きな期待ができないことは明らかである。圧延条件の最適化に、こうした超音波特性が考慮されたが、基本的には、この種の周波数帯域の重複する材料あるいは探傷条件に対する探傷方法の解は未答のまま残された。ただ、探傷技術上における著しい変化は、従前の欠陥波高値、検出位置に関する「時間領域」のみによる評価から、こうした「周波数領域」での信号波形評価へと多元化を強めたことにある。また、その意義づけに関しても、製品高度化

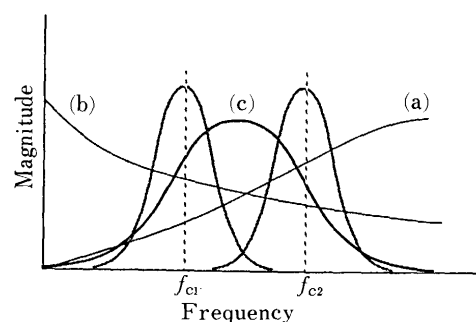


Fig. 5.40. Spectral components of the received signal and bandpass filters with center frequencies f_{c1} and f_{c2} : (a) grain noise spectrum $N(f)$; (b) flaw spectrum $B(f)$; and (c) transducer transfer function $H(f)$.

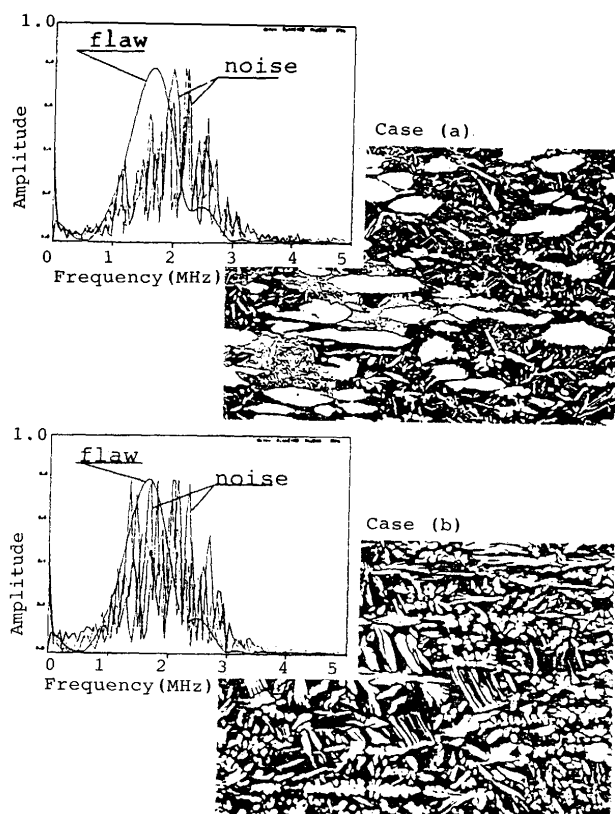


Fig. 5.41. Frequency spectra for duplex stainless steel pipes using 5 MHz broad band probe.

⁶⁾ 例えば、N. M. Bilgutay, J. Saniie *et al.*: Flaw-to-Grain Echo Enhancement by Split-Spectrum Processing, *Ultrasonics* (March 1982), pp. 59-68.

⁷⁾ 前田, 井上ほか: オーステナイト系ステンレス鋼溶接部の超音波探傷における CS 法の応用, 『日新製鋼技報』, 50 (1984), pp. 46-57.

⁸⁾ P. M. Shankar, U. Bencharit *et al.*: Grain Noise Suppression through Bandpass Filtering, *Material Evaluation*, 46 (July 1988), pp. 1100-1118.

に伴うより微小欠陥の検出要請が、材料マトリックス・レベルの欠陥検出能を求めるものとなり、当該材質の評価無しでは論じられなくなり、グレイノイズそのものは材質の評価指標として有効に利用できるものとし見直された。このように、材料組織と超音波伝播諸特性における事象解明によって、材料評価と探傷方法論が連なり、一つの「超音波計測」の分野を形作る様相を呈し、組織正常化へのプロセス改善に寄与することになった。

5.5.6 高度化・多様化する品質要求に、スパイラル・アップする探傷技術

今10年来の、品質保証の拡充とその要求の高度化・多様化を跡付けてきたが、Fig. 5.42のような超音波技術の流れを見ることもできよう。高感度指向から、必然的に材料特性に依拠したS/N向上のための方法論、時間領域に加えて周波数領域での信号処理を生んだ。これらは、未だ、一探傷波での信号処理に止っている。しかしながら、周波数領域でのフィルタリングの有効性も条件付である。1990年は、おりからの高速演算処理デバイス・大容量メモリの出現を見、これが容易に入手されることから、原RF波形における意味有り信号の抽出に関わる実時間デジタル信号処理手法への試みが行われた。それは、従来問題視されなかった材料起因ノイズおよび外来ノイズの、高感度化による欠陥検出能向上を図ることからくる顕在化に対する解法への期待であった。

ここに、「ロバストな高精度」USTシステムの構築、そのためのオンラインでのデジタル信号処理手法の具現化が始まった。Fig. 5.42に示したように、二つのアプローチが考えられた。一つは従来手法の延長上にある受信信号に対する時間領域におけるフィルタリング手法である。アナログフィルタに代わる任意デジタルフィルタに加えての同期加算平均処理から成る。今一つは、周波数領域での送信波制御に関わる実時間パルス圧縮手法の導入である。これらの機能を実現したものの一つが、Fig. 5.43に示した実時間デジタル信号処理システムである⁹⁾。FIRフィルタ (Finite Impulse Response Filter) の応用により、デジタルフィルタリングと

パルス圧縮における相関処理を共に可能とさせたものである。この場合、その処理サイクル(5 MHz)のA/Dのそれ(25 MHz)との差異を、パルス繰返し周期における冗長時間を利用することによって解消し、実時間性を確保している。

電縫管溶接部に対するオンラインUSTシステムへの同期加算処理の適用例を見よう。このシステムは溶接機直後、アニーラ前に位置するもので、その高感度化はこれからの電気

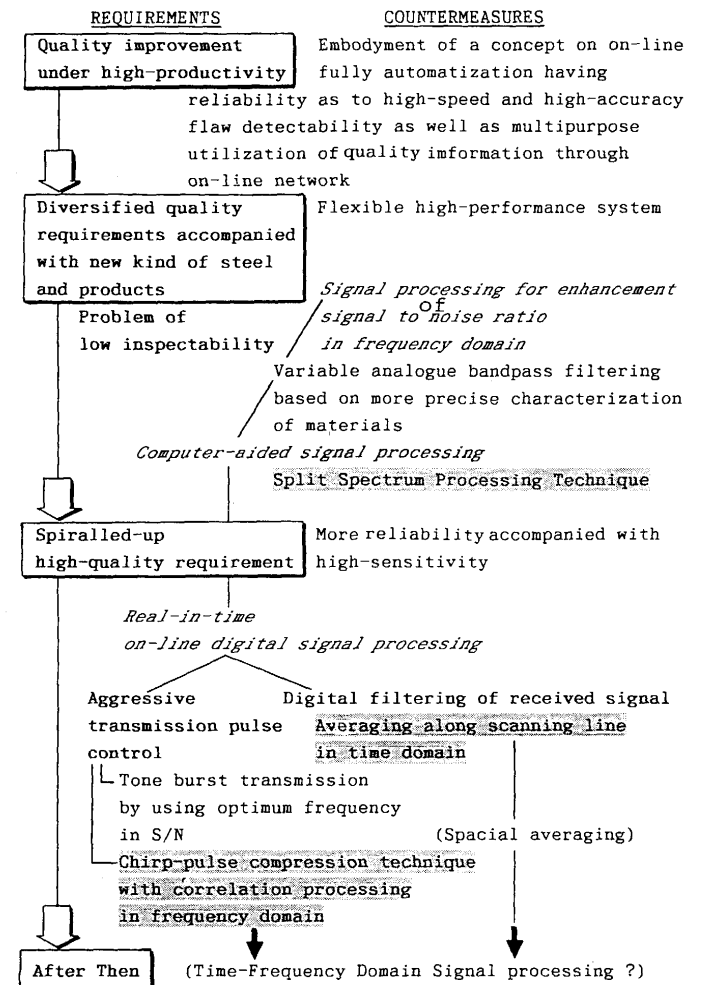


Fig. 5.42. Technical trends just for this decade in ultrasonic testing system.

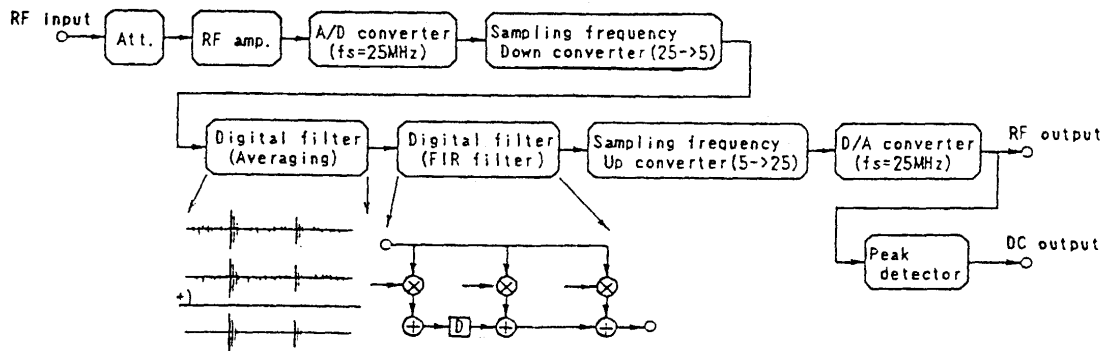


Fig. 5.43. Block diagram of a real-in-time digital signal processing system.

⁹⁾ 飯塚, 西藤はか: 超音波探傷における実時間デジタル信号処理技術, CAMP-ISIJ, 5 (1992), pp. 1357-1360.

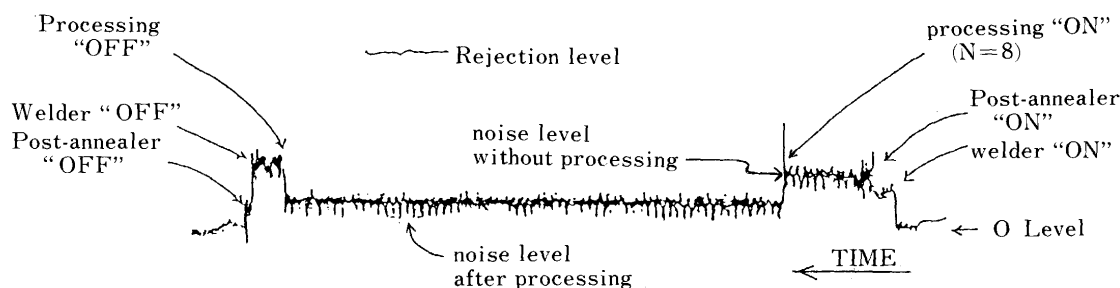


Fig. 5.44. Effect of signal average processing in on-line UST system immediately after electric resistance welder. (ERW pipe: OD22"×15.5mm)

ノイズの抑制が、信頼性ある探傷結果の溶接条件への反映、手動再探傷の要否に絡む直行率の向上に必要となる。これは、ノイズ信号のスペクトラムが欠陥信号のそれに重なり、フィルタリングに、より以上の期待が持てない場合である。また、一波形内での信号処理から、走行する溶接線に沿うパルス繰り返しごとの、続行数波形を用いての実時間信号処理への移行である。Fig. 5.44 は前後二装置のオン・オフに伴う従前ノイズと信号処理によるその低減効果を示すものである。この溶接線に沿う線形加算処理の考えは、全面・全長走査における二次元での空間加算処理に通ずるものであろう。

一方、送信波制御系については、例えば、トーンバースト波を周波数変調したチャープ波を用いたパルス圧縮法は、送信波と受信波との周波数相関から、圧縮による高感度と高分解能を得るものであるが、その変調条件に材料特性に応じた最適化が可能である¹⁰⁾。

こうしたデジタル信号処理の実時間化を達成したUSTシステムの稼働は、多様な信号処理を示唆するものであり、よりロバストなオンライン探傷システムの構築にスパイラル・アップするものと考えられる。エレクトロニクス・デバイスの高機能化と低廉化に支えられたこうしたデジタル信号処理のオンライン導入は、微小欠陥弁別に従来の経験則を代替する手段を与えるものとして、確かにインテリジェント化し、今後とも著しい展開を見られると思われる。

しかし、今後品質の何を求めるのか、そのための特徴値は何が求められなければならないか、このことが等閑にされれば、インテリジェント化も異形化しよう。この意味においての今後10年は、インテリジェントな「超音波計測」へのスパイラル・アップがあろうと考えられる。その信号処理技術は、例えば材質指向の「周波数（あるいは位相）挙動」の「時間軸」での評価、すなわち、「周波数領域」と「時間領域」の

融合を得て、さらなるロバスト化に指向すると思われる。

5.5.7 今後の展望

昭和60年以降、バブル経済を背景とした鉄鋼商品の多品種化、高品質化が促進され、品質計測技術は、特にインテリジェント化の方向に向かってその開発が促進された。現在、鉄鋼需要の成熟感の中で、いき過ぎた多品種・高品質指向によるコストアップに対する反省がでてきていることから、今後は競争力の強化と歩留改善という視点から、適正な要求品質に応じた品質向上の検討が行われていくことになるとと思われる。しかしながら現在も、コンピュータ技術・電子技術は留まることなく発展を続けており、これらの技術をベースとしたデータ処理の高速化・大容量化に支えられて、これからも品質計測のインテリジェント化が大きなメガトレンドであることは間違いなく、以下に示す方向が指向されていくことになるとと思われる。

- (1) パタン化の将来：広域・高分解能・高ダイナミックレンジオンライン計測
- (2) 知能化の将来：効率的学習と性能保証アルゴリズム
- (3) 複合化の将来：複数情報の融合によるホロニック計測・検査

ただし、こうした技術はインフラ技術の進歩なくして実現できないことは事実であるものの、より重要なのは、技術開発の要点が、こうした高性能のツールを生かしたシーズ技術としてのロバストな計測検査の方法論の提案と、鉄鋼プロセスのなかでこれらを生かすエンジニアリング技術としてのロバストなシステムの開発にあるという点を見失ってはならない。鉄本来の計測技術とそれを取り巻くインフラ技術のシナジーのなかに次世代の品質計測技術の発展の方向が示唆されている。

¹⁰⁾ 奥野、湯浅ほか：チューブ信号を用いたパルス圧縮法、超音波による非破壊評価シンポジウム(1994)、日本非破壊協会 第2分科、pp.90-96.