

技術資料



Technical Paper

携帯 X 線分析装置を活用した識別判定システムの開発

瀧澤順哉*

Development of Discriminatingly Decision System by Using Portable X-ray Analysis Machine at Shibukawa Plant of Daido Steel Co., Ltd.

Junya Takizawa

Synopsis

As one of the quality control for chemical composition of materials, spark test and Color Identification Test have been used at Shibukawa plant. However, both tests do not perfectly inspect chemical composition for all materials because the results of tests are not decided by actual data but rely on inspector's skill. To improve it's accuracy, a portable x-ray analysis machine was technically evaluated and has been introduced as a new test for chemical composition analysis.

Chemical composition analysis in final inspection has been improved since the portable x-ray analysis machine is used at time. Identity management system has been improved by more accurate test, which can be realized with construction of EDP (Electronic Data Processing) system using x-ray test data.

Whole system was improved in conjunction with the improvement of portable x-ray analysis machine. And 10 machines have been installed in places in the plant and contributed to improve the accuracy of the identity management. An outline of the system is described in this article.

1. はじめに

大同特殊鋼(株)渋川工場（以下、当工場という）は、配合・溶解（含む再溶解）・鍛造・熱処理・機械加工などの各種製造プロセスを保有する特殊鋼メーカーであり、航空機・船舶・原子力発電・自動車を始めとする世界中の各種業界への素材供給を行っている。また、製造している製品は完全受注品かつ、小ロット多品種であり、顧客から高い信頼を得ると共に、国内外に高い QCD (Quality, Cost, Delivery) 競争力を示している。

製品が出荷されるまでに、上述のとおり溶解・鍛造・機械加工・熱処理などの各種製造工程を経由するため、製品の形状変化、製品本体への熱処理などが多い。そのため製品への識別情報の表記が非常に困難であることから、識別管理が最重要作業のひとつに位置付けされている。万が一、異材（工程中における他のオーダとの入れ替わり）が発生した場合は、要求品質との差異による品

質低下に繋がるだけでなく、企業イメージの大幅なダウンに即繋がる可能性がある。さらに納入先企業から異材が未判明なまま最終的な姿として市場に出回った場合は、時に企業存続の危険性を孕んでいる。

そのため当工場では、素材供給メーカーとしての最終異材判別保証（メーカー責任）として、各種手段と対策（識別作業標準の制定と徹底および定期チェック、刻印・耐熱チョーク・荷札などによる現品表記、システム対策など）を講じている。材質を評価する手段のひとつとして、火花・呈色検査が存在する。

2. 火花・呈色検査の特徴および問題点とシステム開発の目的

火花・呈色検査は、その性質上、作業者のスキルによる官能的なものである。冒頭説明したとおり、当工場の製品は小ロット多品種であるため、検査頻度も非常に高

く、それに要する工数も膨大なものである。火花検査は、検査対象材にグラインダーをあてることで発生する火花の観察を行い、C含有率および鋼種を特定する作業である (Fig.1).

呈色試験は、試験すべき元素ごとの専用試薬を含んだ脱脂綿を製品にあてた後に、一定秒数の微弱電流を流した結果、脱脂綿が元素固有の色に反応する。色の変化状況を観察することによって、含有率を推定する作業である (Fig.2).

双方の検査において精度の高い判定を下すためには、専門知識だけでなく、相当の経験を積む必要があり、大同特殊鋼(株)では社内資格認定制度を設けている。火花および呈色検査の問題点 (Table 1/Fig.3) として、

火花：「判別できない鋼種がある」

「高いスキルを必要とし、スキル精度の差が発生しやすい」

呈色：「含有量によって適用範囲が限られている」

「適用範囲内であっても、他の合金による影響のため判別不可能鋼種がある」

「元素の含有有無を主とする判別のため、完全ではない」



Fig.1. Appearance of Spark Test.

などがある。また共通の問題点としては、検査結果データが存在せず、定量的に評価できないことが挙げられる。また、官能的な作業であるがゆえ、作業者の精神的な負担が大きいことも挙げられる。

以上のことから、システム化の手段としては、

①火花検査および呈色試験ではカバーしきれない元素、鋼種の代替検査方法として、携帯 X 線分析装置を活用

システム開発の目的としては、

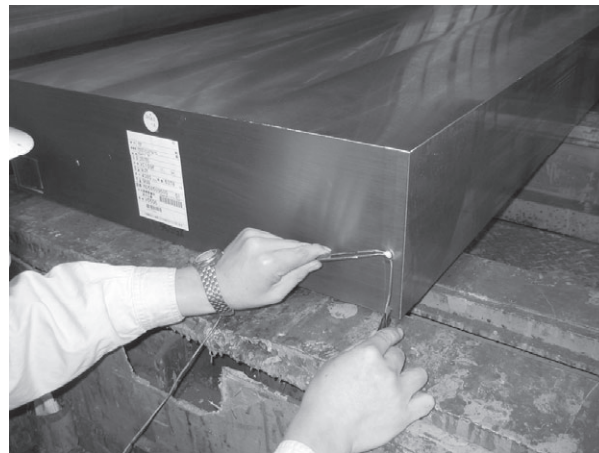

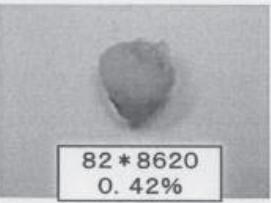
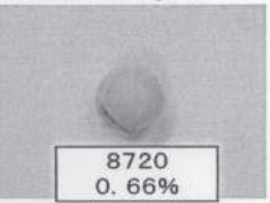

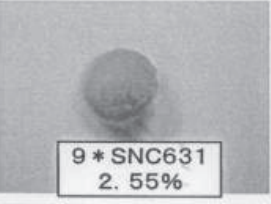
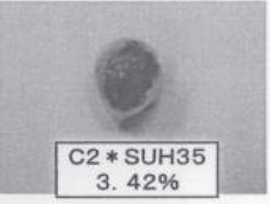


Fig.2. Appearance of Color Identification Test.

Table 1. Accuracy of Spark Test.

Spark Type	Feature of Spark	Threshold
Carbon Steel	Carbon burst	C < 0.5 % : Distinctive threshold = 0.2 % C ≤ 0.5 % : Indistinctive
Carbon Silicon Steel	Carbon burst	
Ferritic Stainless	Streamline with burst (grenadine)	Distinctive (threshold = 3 %)
Martensitic Stainless	Streamline without burst (grenadine)	Cr : Distinctive (threshold = 3 %) C < 0.5 % : Distinctive threshold = 0.2 % C ≤ 0.5 % : Indistinctive
Austenitic Stainless	Streamline without burst (tangerine)	Cr : Distinctive (threshold = 3 %) Mo : Distinctive (threshold = 1 %)
Super Alloy	—	Indistinctive

(1) Ni

Color : Pink		
 6 * DSR6F 0. 20%	 82 * 8620 0. 42%	 8720 0. 66%
 48 * 4320 1. 75%	 9 * SNC631 2. 55%	 C2 * SUH35 3. 42%
Standard Applicable Scope : 0.4~3.5% Actual Result : No color change observed 0.66% or below		

(2) Cr

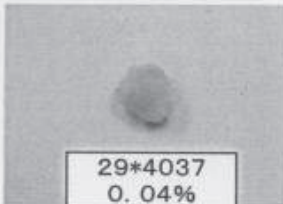

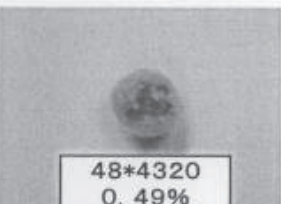
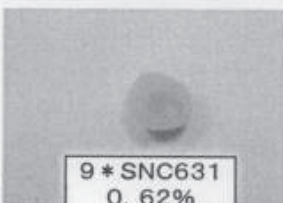

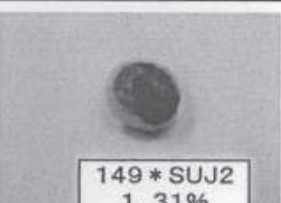

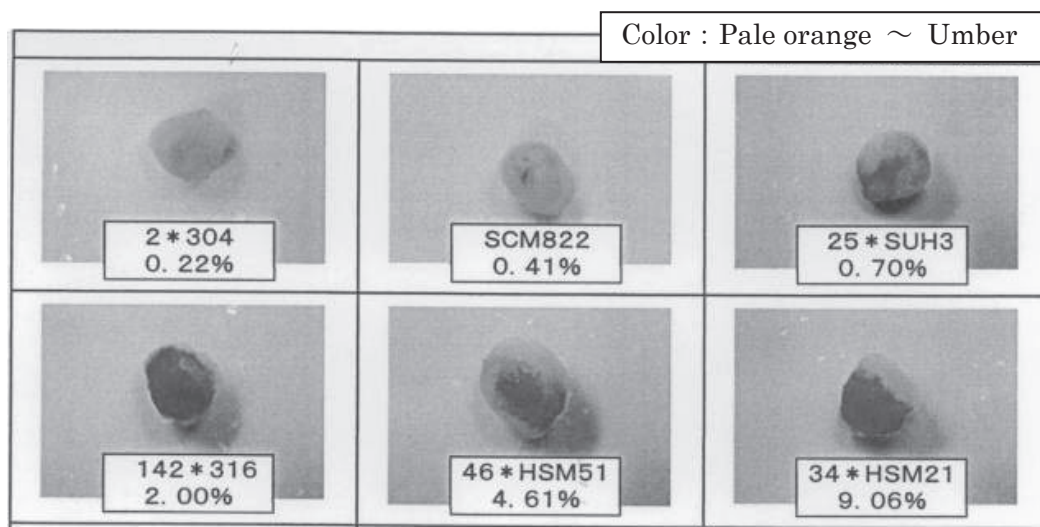
Color : Purple		
 29*4037 0. 04%	 82 * 8640 0. 41%	 48*4320 0. 49%
 9 * SNC631 0. 62%	 128 * SCR420 1. 02%	 149 * SUJ2 1. 31%
 13 * NMW51 1. 90%		
Standard Applicable Scope : 0.4~3.0% Actual Result : Adverse change is observed (e.g. color of 0.49% is more thick than that of 1.02%)		

Fig.3. Example of Color Identification Test. (1), (2)

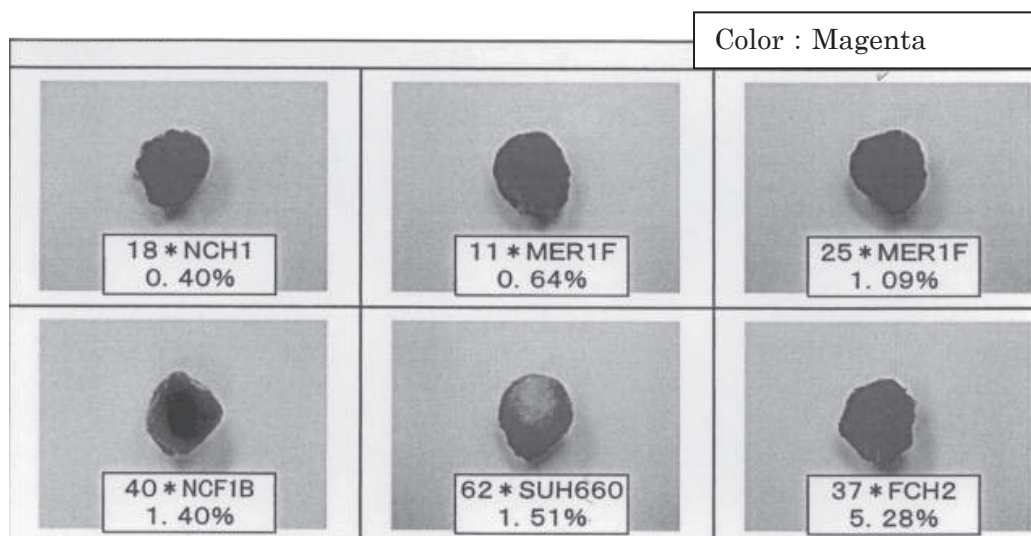
(3) Mo



Standard Applicable Scope : 0.4~15%

Actual Result : Difficult to determine the color 2% or above

(4) Al



Standard Applicable Scope : 0.7~5.0%

Actual Result : Color change occurs only 1.4% or above

Fig.3. Example of Color Identification Test. (3), (4)

- ①システムによる定量的な判断を行うことによって識別検査精度をアップさせ、異材流出防止策の更なる高レベル化の実現
- ②容易かつ確実な作業による対応工数の削減とスキルフリー化
- ③識別作業レベルの平準化
- ④検査頻度の更なる向上
- ⑤作業者の精神的な負担低減を図ることとした。

3. 携帯 X 線分析装置能力と評価

(1) 携帯 X 線分析装置の仕様

今回導入した携帯 X 線分析装置の仕様を Fig.4 と Table 2 に示す。



Fig.4. External View of Portable X-ray Analysis Machine.

Table 2. Specification of Portable X-ray Analysis Machine.

Weight	1.7 kg
Dimension	248 × 273 × 95 mm
X-ray tube	35 Kv Target Metal : Miniature type X-Ray tube
Range	Ti ~ Bi
Data	Definition/Semi-quantitative measure Automatic material identification (800 material) Max registration 3000
Battery	Li-ion battery
B/C	Equipped with Barcode Reader

Table 3. Performance Data (Portable type VS Conventional type).

	Portable type	Simultix12
Type of Spectroscopy	Energy Dispersion	Wavelength Dispersion
Accuracy (σ)	0.48 %	0.008 %
X-ray Output Energy	0.7 W	3500 W
Price	¥6,000,000	¥35,000,000
Time to Analysis	30 sec / sample	40 sec / sample
Range	Ti ~ Bi	C ~ U
Type	Portable	Conventional Fixed type
Running Cost	Small	Large

特徴としては、

- ①携帯可能なサイズと重量
- ② Ti ~ Bi までの測定が可能
- ③測定結果（元素名、測定値、バラつき度合いなど）を本体上部画面で確認が可能
- ④本体内部に測定結果の蓄積が可能
- ⑤測定完了時に測定結果をリアルタイムにデータとしての外部出力が可能
- ⑥指定した内部蓄積データの外部出力が可能
- ⑦測定モード切替えが可能

などが挙げられる。ただし本体へのプログラム搭載によるカスタマイズ、外部通信インターフェースの開示は不可である。

国内導入実績は 2008 年 6 月現在 640 台余りであり、幅広い業界に導入されていることから、測定性能の安定性、および安全面に対する十分な考慮が伺える。

(2) 従来型分析装置との比較

従来の据え置き型分析装置（サイマル 12 型）との性能比較結果を Table 3 に示す。携帯 X 線分析装置の優位面としては使用形態、初期投資額、ランニングコスト、分析時間（これは、その後のバージョンアップにより 15 秒／測定まで向上）である。ただし機器性能上、C、Si、S などの軽元素分析が不可能である。

(3) 携帯 X 線分析装置の精度、正確さの確認

携帯 X 線分析装置をシステムの構成機器として導入するために最重要なことは、安全面に関する配慮、測定精度および正確さであることはいうまでもない。装置前方

30 cm の地点で、1 分間連続して照射を受けたとしても 0.0125 ミリ Sv であり、胸部レントゲン写真 (0.06 ミリ Sv) 以下であることをメーカー確認した。

精度、正確さについては、下記の観点で技術的評価を行った。

- ①測定時間
- ②測定試料状態
- ③測定試料形状
- ④作業者

①の観点としては、「精度良い結果を出力するために必要な時間を確認すること」

「メーカー推奨値および推奨時間以上の測定結果に関する評価」である (Fig.5)。

②の観点としては、当工場の製品はさまざまな納入状態がある。代表的なものとしては「熱処理肌」「加工肌」「グラインダー肌」などがある。また一部の製品にはペンキ塗布などがあり、検査時における製品の表面状態の影響度合いを評価した (Fig.6)。

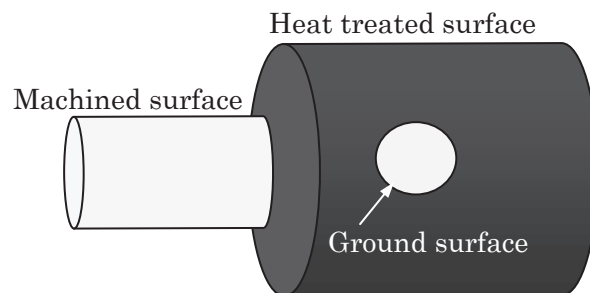
③の観点としては、当工場の製品の表面は必ずしも平面ではなく、湾曲面を有する場合が多い。また加工精度（面粗度）もオーダごとに異なることから、携帯 X 線分析装置の測定製品への密着度による影響度合いを評価した (Fig.7 と Fig.8)。

④の観点としては、測定者はあくまでも人間であるゆえ、

作業者ごとのバラつき度合いを測定し、一定の条件下のもと、誰しものが安定した測定作業ができることを確認、評価した (Fig.9)。

技術評価の結論としては

- ・「白皮（加工肌の意／グラインダー肌を含む）であり、測定場所にスケールが残っていないこと」



	Ni	Cr	Mo	Fe
Ladle	13.85	16.85	2.01	64.76
Machined surface	13.56	16.74	2.19	64.25
Ground surface	13.72	16.78	2.22	63.85
Heat treated surface	18.58	25.43	3.25	49.10

Fig.6. Influence of Surface.

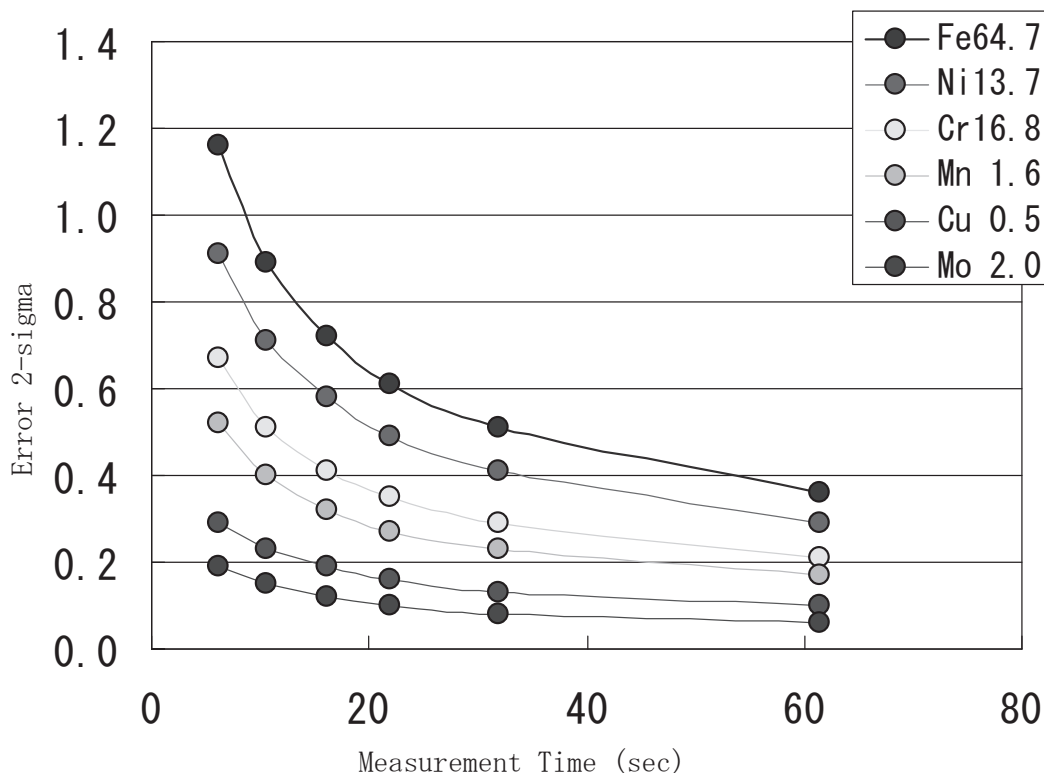


Fig.5. Relation Between Measurement Time and Accuracy.

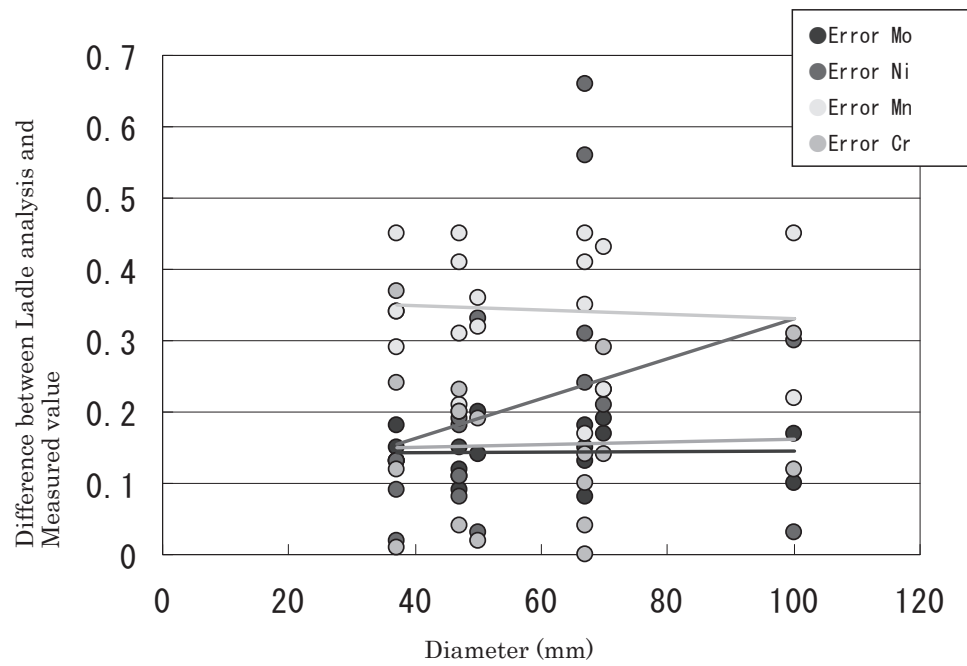


Fig.7. Influence of Curvature.

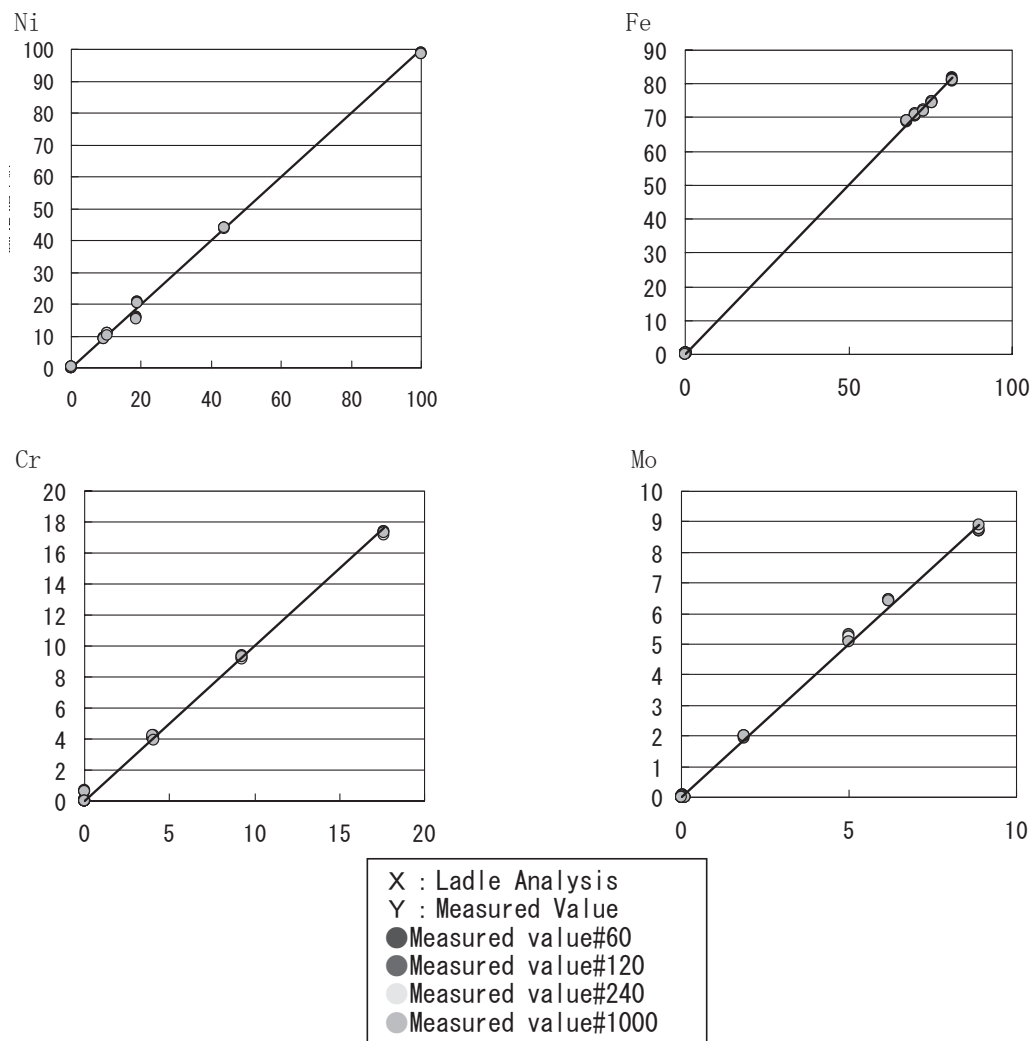


Fig.8. Influence of Surface Roughness.

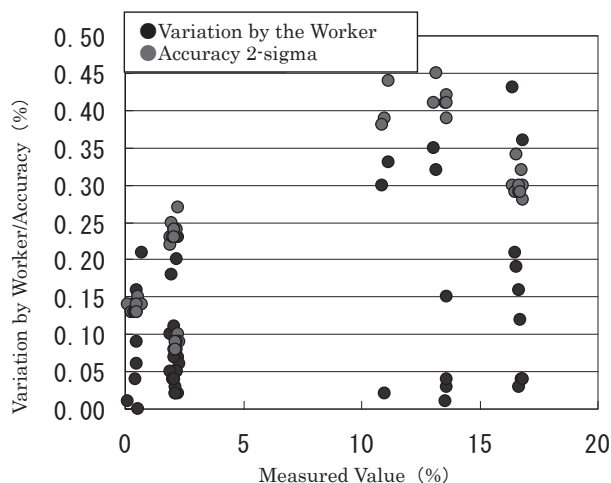


Fig.9. Measurement Variation by the Worker.

- ・「測定場所にペンキ類の塗布が無いこと」
- ・「測定場所が 1.5 cm² 以上確保されていること」
- ・「当工場の取り扱う製品における面粗度に対する影響は無い」
- ・「測定可能元素は特殊鋼構成元素の重元素全般であり，C，Al，Si の判別は不可」

である。また、今回の機器性能評価作業にて「一部の鋼種において、測定結果に基準となったレードル値との偏差が大きいものがある」ことが判明した。これは、精度の高い識別判定ロジックを組み上げる上での重要な検討テーマとなった。

4. システム概念と特徴

(1) システム構成

今回開発したシステムは、携帯 X 線分析装置以外に「測定結果を受送信する無線親機（汎用 PC）」、「測定結果を受信中継してホストコンピュータへの伝送、および電光掲示板への判定結果伝送を担うプロコンサーバ」、 「あらかじめ比較元となるレードル値（最終成分値）を抱え、

専用の判定処理を搭載したホストコンピュータ」、「判定結果表示用の電光掲示板」などから構成される。機器構成イメージと伝送メッセージの流れを Fig.10 に示す。

(2) システム化の考慮点

システム開発のコンセプトは、「製品に貼付された荷札の妥当性」「製品の成分的な妥当性」を系統的に容易にかつ正確に、すばやくチェックするところにある。具体的には、「荷札に印字された製品の固体識別 ID（カード No. と称す）のバーコード情報を携帯 X 線分析装置にて読み込み（荷札貼付対象外の製品は指示書より読み込み）⇒「製品を測定」⇒「ホストコンピュータ上で固体識別 ID からレードル値を取り出し」⇒「レードル値と測定値を専用ロジックにて比較判定することで成分的な妥当性を判断」⇒「判定結果を電光掲示板に表示して作業員へアナウンス」という情報の流れで実現した。以上の作業の流れから、成分的な妥当性確認だけでなく、製品と荷札（指示書）の相関チェックを本システムで実現している。

測定結果並びに判定結果は、データとして蓄えること

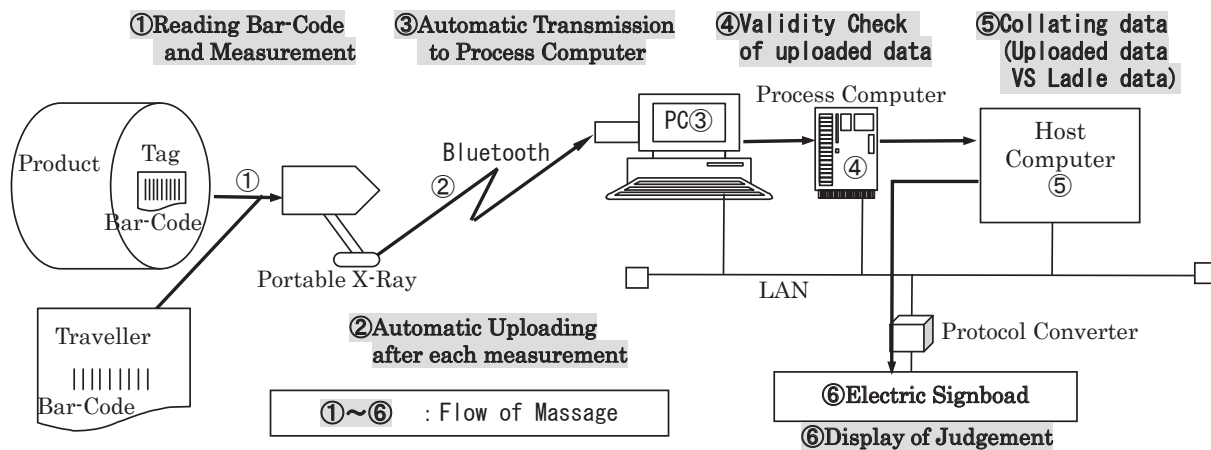


Fig.10. Configuration of Hardware and Flow of Message.

によって、検索を可能にすることで、成分に起因するクレーム対応時の確認作業も容易としている。また、測定時間の確保を行うために、測定秒数（携帯 X 線分析装置からの出力データの一部）に対して、一定の閾値を持たせてチェックしている。

携帯 X 線分析装置の動作安定を図るための運用面に関する留意事項としては、成分値があらかじめ判明しているサンプルの定期的測定と測定結果の比較チェック、ならびに携帯 X 線分析装置本体のキャリブレーション作業を作業者に義務付けている。

安全面に関しては、通常使用であれば上述のとおり問題の無い被爆量であるが、測定時の運用として、作業方向に人が立ち入らないことを義務付けているとともに、胸部 X 線フィルムパッチを常に装着させることで健康管理にも配慮した。

今回導入した携帯 X 線分析装置は上述のとおり軽元素測定不可であるため、C および S 測定については従来どおり火花検査と S プリント（サルファーの呈色試験）を実施するものとした。

さて、本システムの核となる比較判定ロジックであるが、携帯 X 線分析装置はあくまでも簡易的な装置であるが故に、従来から用いられている据え置き型の分析装置と測定結果に若干の差異を持つ。また鋼種によっては偏差の大きい場合があることが判明しているのは既に述べたとおりである。このため、検討試料として鋼種数 111、試料数 122 を元にした測定結果から独自の判定処理を今回開発した。

レードル値を基にした規格範囲を決定するためのポイントとしては、測定バラつきに対する規格最適値の決定

であり、

① OK 材を異材と判定しない

② 異材を OK 材と判定しない

ことの実現である。具体的には、鋼種の元素のレードル値ごとに対しても個々に判定係数を持たせると共に、一部の鋼種には偏差補正するための係数を設けることによって基準値化した。判定基準値は「蓄積データの日々の解析を継続」だけでなく「携帯 X 線分析装置の性能向上による見直し」を行うことによって、定期的にチューニングを実施している。

(3) システム評価

今回開発したシステムによる判定結果の評価を 2004 年 1 月～2005 年 10 月までに溶解された 1009 鋼種／13315 チャージに対して、鋼種総当たりによる確認（確認データ件数 1120 万件余り）を実施した。その結果を Table 4 に示す。Table 4 にあるとおり、従来作業の火花検査（C 推定）＋呈色試験のみでの識別判別能力が 77.8 % に過ぎなかったのが、火花＋携帯 X 線分析＋S プリント（S 測定）の作業によって 97.3 % まで飛躍的に向上した。

100 % にならなかった理由としては、「同一鋼種の入替わりは判別不可能」、「軽元素含有率の差異のみで、重元素含有率が極めて近似している一部の類似鋼種は判別不可能」であるためである。また今回の評価作業において、当工場における検査作業のうち、60 % 程度の作業において火花検査を省略することが可能であることが確認できた。一方サルファーは携帯 X 線分析装置での検出が不可能であるため、S プリントは廃止不可であり、携帯 X 線分析と組み合わせること高い識別能力を維持することが可能なことを確認した。

Table 4. Evaluation of Discriminating Ability.

Actual Discriminative Ability (Number of sample = 1009 Material)		
Test type	Distinctive	Indistinctive
Color Test	58.2 %	41.8 %
Spark and Color	77.8 %	22.2 %
Portable X-ray Analysis	96.5 %	3.5 %
Spark and Portable X-ray Analysis	97.1 %	2.9 %
Spark, Portable X-ray Analysis and Sulfur print	97.3 %	2.7 %
Indistinctive Percentage using conventional Method (Spark and Color) : 22.2 %		
Indistinctive Percentage using New Method (Spark, Portable X-ray Analysis and Sulfur print) : 2.7 %		

5. 参 考

(1) 関連法規制

今回導入した携帯 X 線分析装置は、測定物無しの空中放射時に「水平方向のあおり角 18 度の水平到達距離約 5.5 m の範囲」、「迎角 5 ～ 40 度の水平到達距離約 5 m の範囲」で $2.5 \mu\text{Sv/h}$ を超える。この範囲外であれば、 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 以下であるため、電離放射線障害防止規則第 3 条によれば管理区域外となる。

(2) 特許申請

本システムは下記内容にて特許申請完了している。

発明の名称：「携帯 X 線分析装置を用いた鋼材の流通チェックシステム」

出願番号：特願 2006-155411 (P2006-155411)

出願日：2006 年 6 月 2 日

出願公開番号：特願 2007-320746 (P2007-320746A)

公開日：2007 年 12 月 13 日

6. おわりに

携帯 X 線分析システムは開発当時に比べ、「測定元素追加対応」、「測定秒数の短縮化対応」だけでなく、「装置本体の無線化対応」が完了している。

これによって、判定精度向上だけでなく機動性に長けたシステムを実現することができた。また、上述システム評価のところで述べたが、判定基準値も定期的に見直しを実施しており、よりシビアな判定を下すことが可能となっている。

本システムは識別判定の観点から、当工場において欠かすことのできないシステムへ成長した。また、定量的に評価することから、現場作業者からも精神的に非常に楽になったとの声をいただいている。システム開発者としては、非常に喜ばしい限りである。今後システムチューニングを継続的に実施することによって、より高度な識別判定を実現していきたいと思う。