

カラーパターン解析によるレンガ色自動選別システムの開発

波 通隆, 長尾 信一, 吉川 毅

Development of Automatic Color Grading System for Brick by Analizing Color Pattern

Michitaka NAMI, Shinichi NAGAO, Takeshi KIKKAWA

抄 録

レンガタイルは都市空間を含め多くの建築物に利用されるようになってきており、正確な色基準に基づく出荷が要求されている。しかし、レンガの色合いは個々非常に複雑であり、熟練者によっても、選別のばらつきが生じ易いことから、レンガ色選別についての自動化が強く望まれていた。本開発では、熟練者の判断基準を構成する要素として、レンガ面に分布する色とその分布状態を考え、それらを辞書（データベース）として持つカラーパターン解析に基づく色識別法を用いることにより、従来難しかった2次元色パターン的高速・高精度識別を可能にし、自動化システムの実用化を図った。色識別率、選別速度はいずれも熟練者の能力を超えるシステムとなった。

1. はじめに

レンガタイルはその柔らかな質感や色の複雑さなどが好まれ、最近では大型建築物にも多く利用されるようになってきた。一方、ユーザーからは色基準に対する要望がますます厳しくなっている。ところが、レンガは本質的には焼きものであるため、同じ赤色と選別されたレンガでもクロやアマの色が混じりあった色パターンを呈し、色合いも少しづつ異なっている。したがって、対象レンガについて、その選別基準の設定を単純に決めることができない。このようなことから、レンガのような複雑色の識別は非常に難しく、色選別工程においては、熟練者の判断に頼らざるを得なかった。しかし、熟練者によっても、選別基準が人によって微妙に変わることで、疲労及び周囲の明るさの変化による選別のばらつきが生じ易くなることなどの問題点があった。そこで、色選別についての自動化が強く望まれていたが、全国的にも開発例はなかった。

本開発では、熟練者の判断基準を辞書（データベース）化したカラーパターン解析に基づく色識別法を用いることにより、従来難しかった2次元色パターン的高速・高精度識別を可能にし、自動化システムの実用化を図った。

2. レンガ色識別

2.1 対象レンガ

レンガの製造は、原料である粘土の配合・混ぜ合わせから始まり、成形後、規定のサイズにカットされ焼き上げられる。焼き上がったレンガは束ねられ、割り機により一個づつ分離

後、色選別され、ユーザーの要望に合わせた所定の比率で色合わせされ梱包・出荷される。図1に、この製造工程を示す。この工程中、色選別についてはすべて人手により行われており、本開発により自動化が実現された。

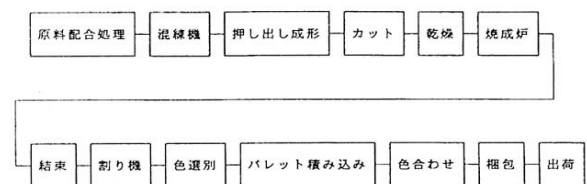
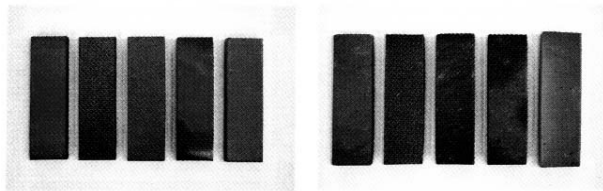


図1 レンガ製造工程

本開発時に対象としたレンガを図2に示す。対象色は「アカ」、「クロ」、「チャ」、「アマ」、「ブチ」の5種類の色で、大きさは長さ210mm、幅60mm、厚さ30mmのものと同長さの半分のもの2種類である。また、それぞれ表面が平らなフラットと呼ばれるものと表面に凹凸のあるテッセラと呼ばれるものがある。レンガの色は、ほぼこれら5種類の色の子ずれかまたはこれらに近い色に属すると考えられ、これら対象色の識別ができると、いわゆる“レンガ色”と言われる色についての識別対応が可能と考えられる。

なお、以下、レンガの色種類については、前述したように「」を付けて表現し、そのレンガに分布している色名については「」を付けない表現とする。したがって、センサにより計測、識別された部分の色についても同様に「」を付けない表現とする。



(a) フラット (b) テツセラ

図2 対象レンガ

2.2 三刺激値計測とセンサの選定

一般に色は、図3に示す色度図により表現される。レンガ色においても、この図に示されているように、同じアカ色と言われる色でもアナログ的に色変化しており、例えばその変化過程の適当なところにしきい値を設けて色識別を実現しなければならない。したがって、企業の選別基準の規格化が実現でき、かつ非常に曖昧性を待った対象色に適用できる色識別の考え方を導入しなければならず、この点からレンガ色自動識別装置の開発、実用化が難しかったと考える。

本開発では、まず、色識別の可能性を知るため、対象となるレンガについて測色色差計により測定した。この際、特に「ブチ」色のレンガについてはアカ、クロなどの色の分布を知ることによって識別できることから、「アカ」、「クロ」、「チャ」、「アマ」の各レンガ色を測定した。

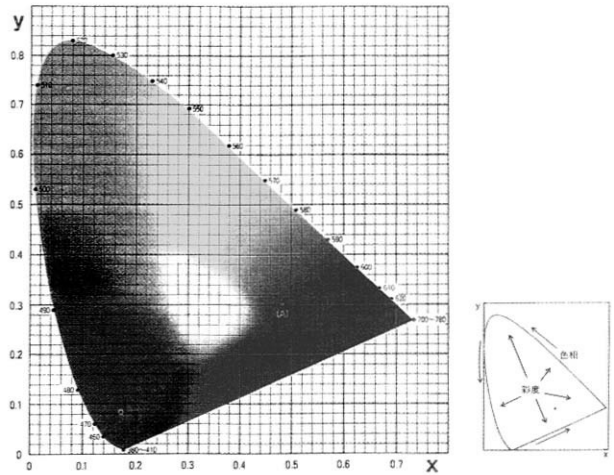
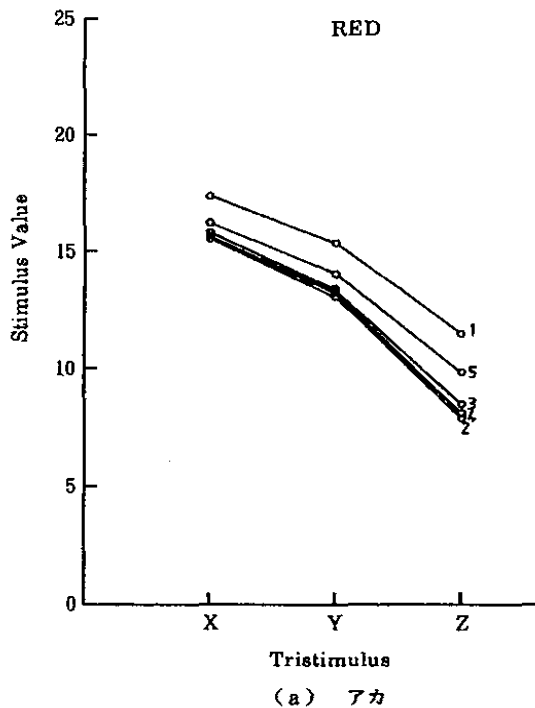
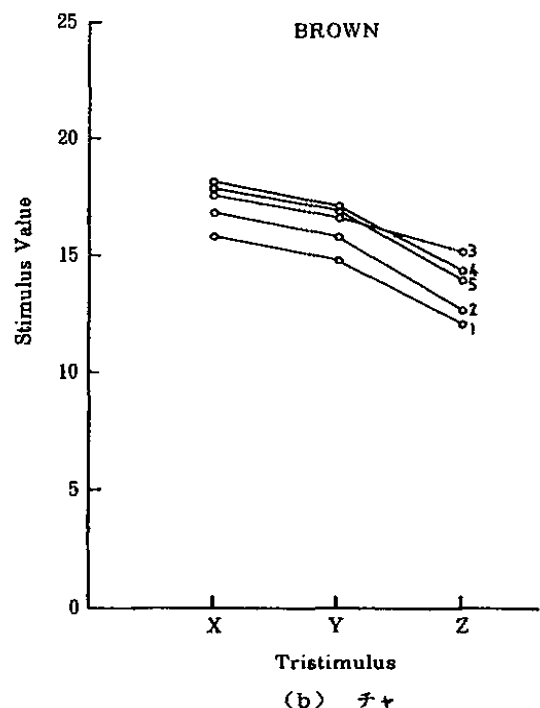


図3 XYZ表色系色度図

図4に、色の表色系に基づくX、Y、Zの三刺激値を測色色差計(日本電色工業(株)製MODEL Z-1001DP)により、すでに色選別されているレンガの上面中央5カ所を測定した結果を示す。この図で、刺激値間を線で結んでいるのは視覚的に比較しやすいようにするためである。各レンガ色のその結ばれた線ターンを比較して見ると、各色のレンガには他の色が混在しているにもかかわらず、「アカ」、「クロ」、「チャ」、「アマ」各々について明らかな相違が確認できた。したがって、XYZ表色系またはRGB表色系に準じた色計測を行うことによって色識別が可能と考えられた。そこで、センサとして、出力が計測対象に投光した光の反射光をフィルターを通して取り出したRGB成分アナログ値であるものを使用し、その各値を評価することによる色識別について検討した。



(a) アカ



(b) チャ

図4 レンガ色の三刺激値計測結果

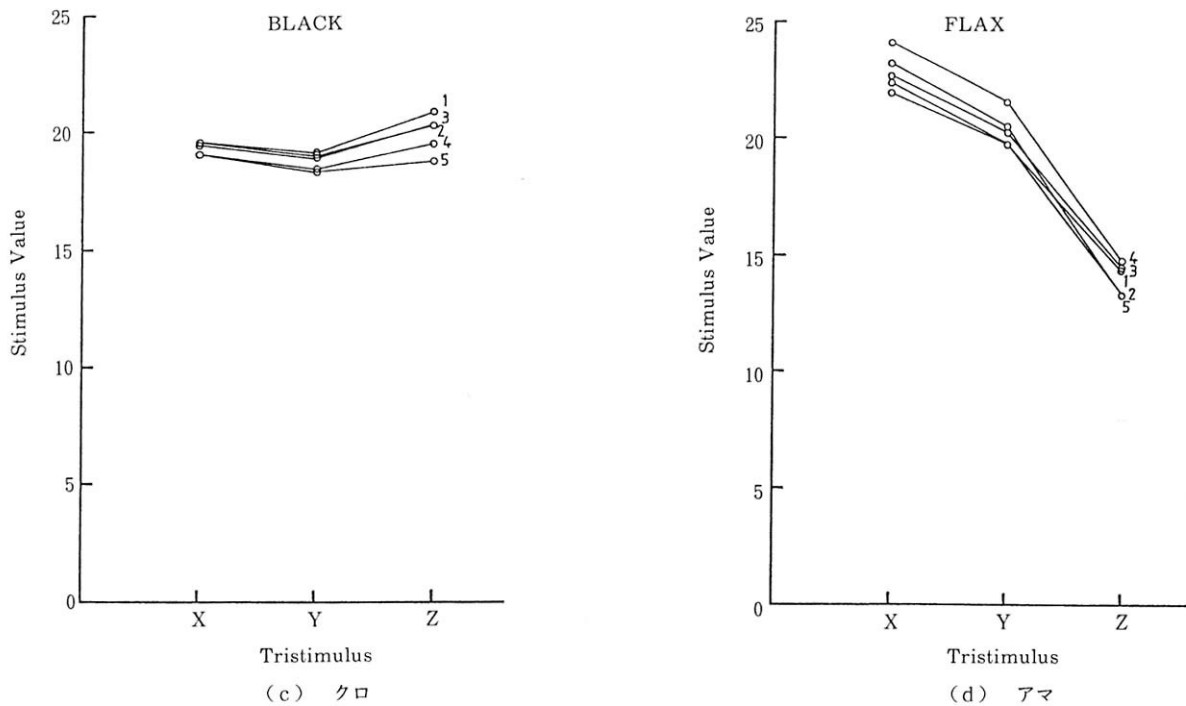
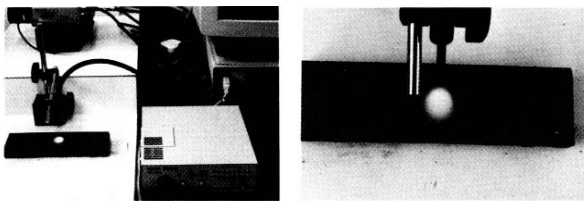


図4 レンガ色の三刺激値計測結果

上記センサとして、HOYASHOT(株)製HCS1000型カラーセンサを選定した。本体とその投光状態を図5に示す。本センサは、この投光されたスポット部分の色の反射強度に応じたRGB各計測値が得られ、計測応答速度が10msと高速であることから、レンガ上面の高速多点計測が可能であり、自動化向けのセンサである。一般に測色計では最も高速なタイプであっても、1点の計測に500msかかり、面としての色情報を獲得するための多点計測自動化ラインには用いることができない。



(a) センサー本体 (b) センサースポット

図5 センサー

2.3 センサの距離・角度特性

センサについて、レンガ色計測のための適当な角度と距離を知るため、慣用色名であるレンガ色及び同系色のフラットとテッセラの各レンガについて、まず、角度を30度と一定にして距離を10, 15, 20, 25(単位:mm)と変えて計測した(図6)。この結果、反射光の明るさの強さに関するGの値は距離にほぼ比例している。また、色相、彩度に関するB, R

については20mmもしくはそれ以上でほぼ一定になっている。これらから距離については計測面の凹凸の影響を受けにくい距離であることも考慮し、20mm前後、もしくはそれ以上の距離で行うこととした。

次に、距離を20mmと一定にして角度を30, 45, 60(単位:度)と変えて計測した(図7)。この結果、Gの値については、ほぼ比例関係にあり、BとRについては、実際のレンガ色においてはほぼ一定になって、特に、30度から45度までが一定の特性にあった。これらから角度についてはメーカー推奨の30度を選択した。

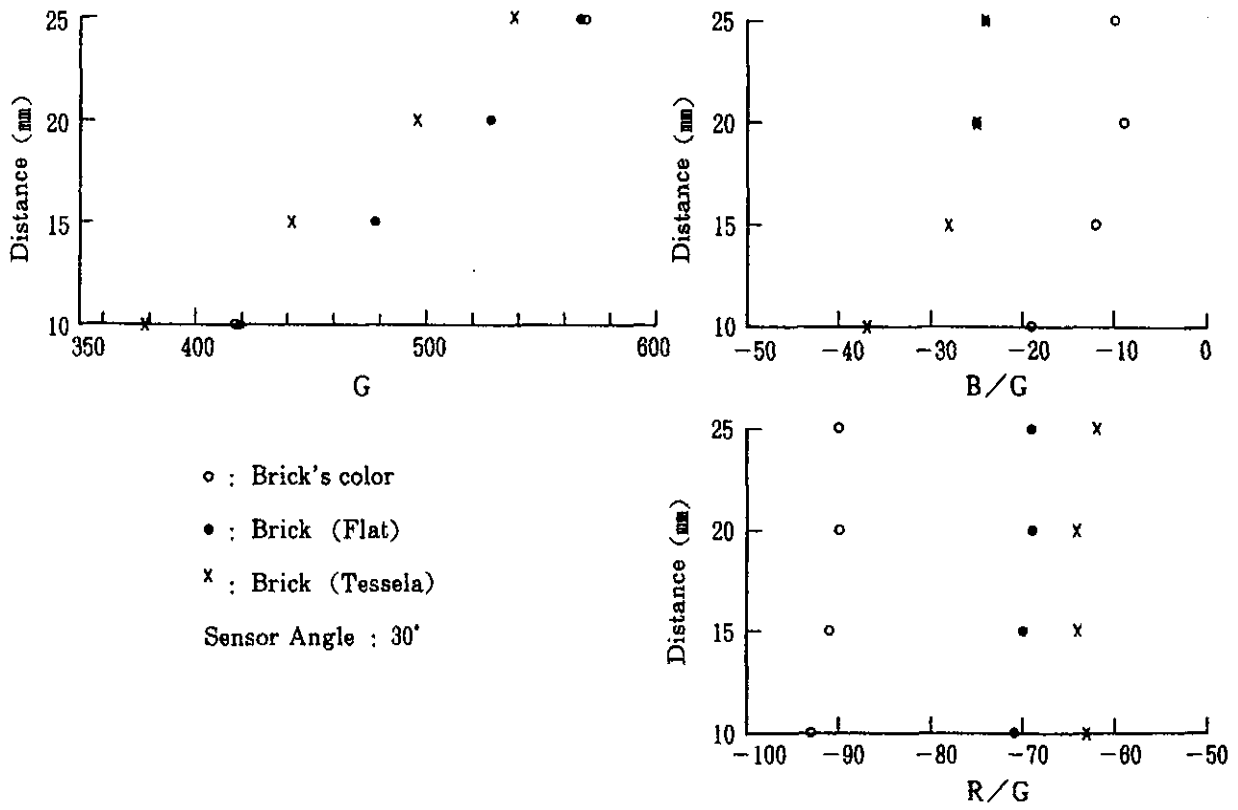


図6 センサーの距離特性

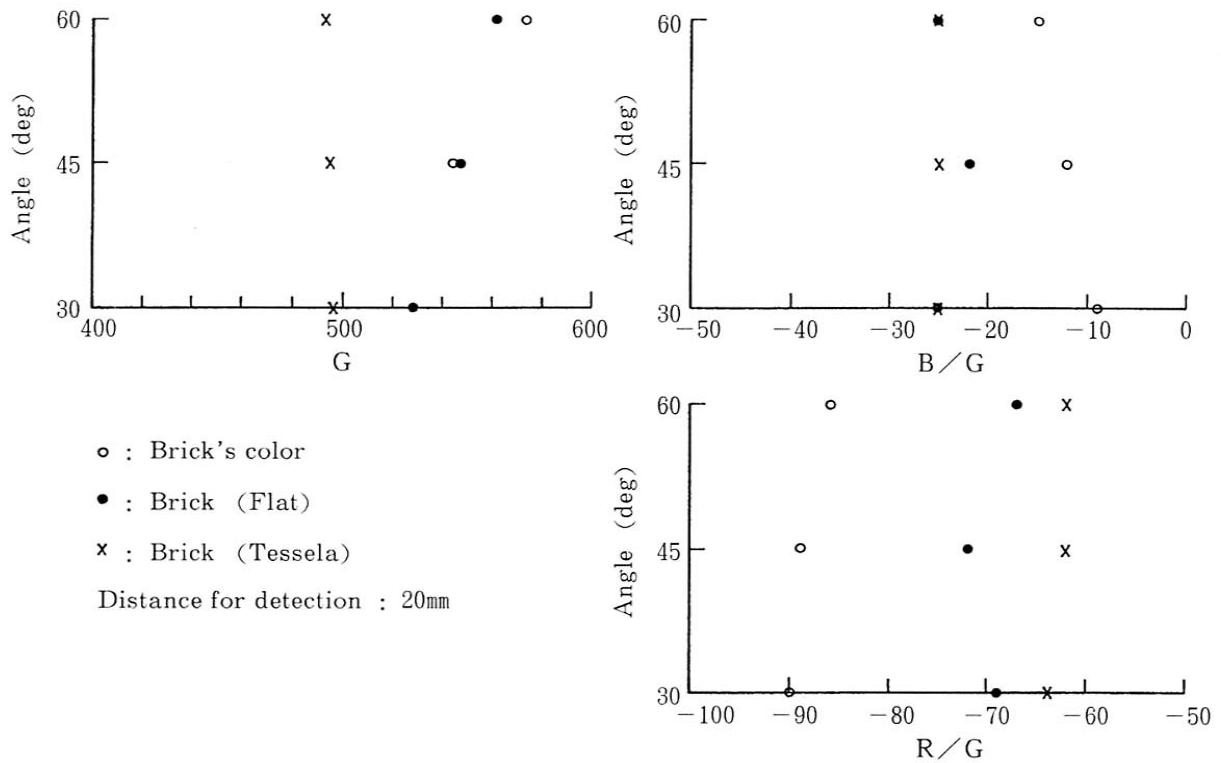


図7 センサーの角度特性

2.4 色空間の6しきい値による切り出し

センサからの出力値による色識別の基本的な考え方を図8に示す。この図では、識別対象レンガ色がRGBそれぞれ上下限のしきい値を設けた計6つのしきい値に囲まれた領域に入っている場合、すなわちその領域として定義されている場合に、あるレンガの計測力所のセンサRGB出力値が、その定義された領域内にあると、計測力所の色はその定義色として識別される。

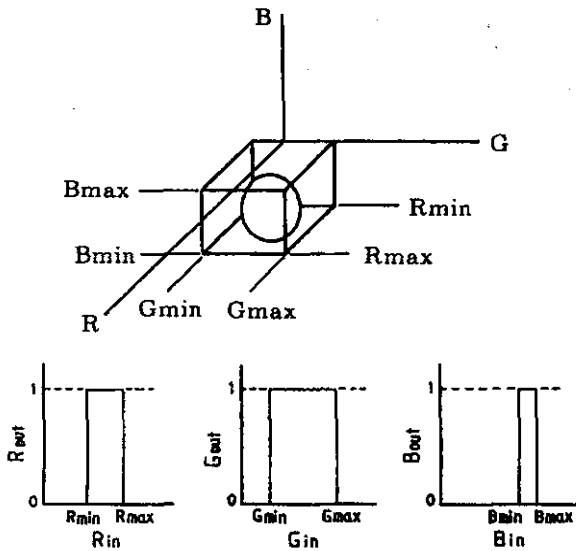
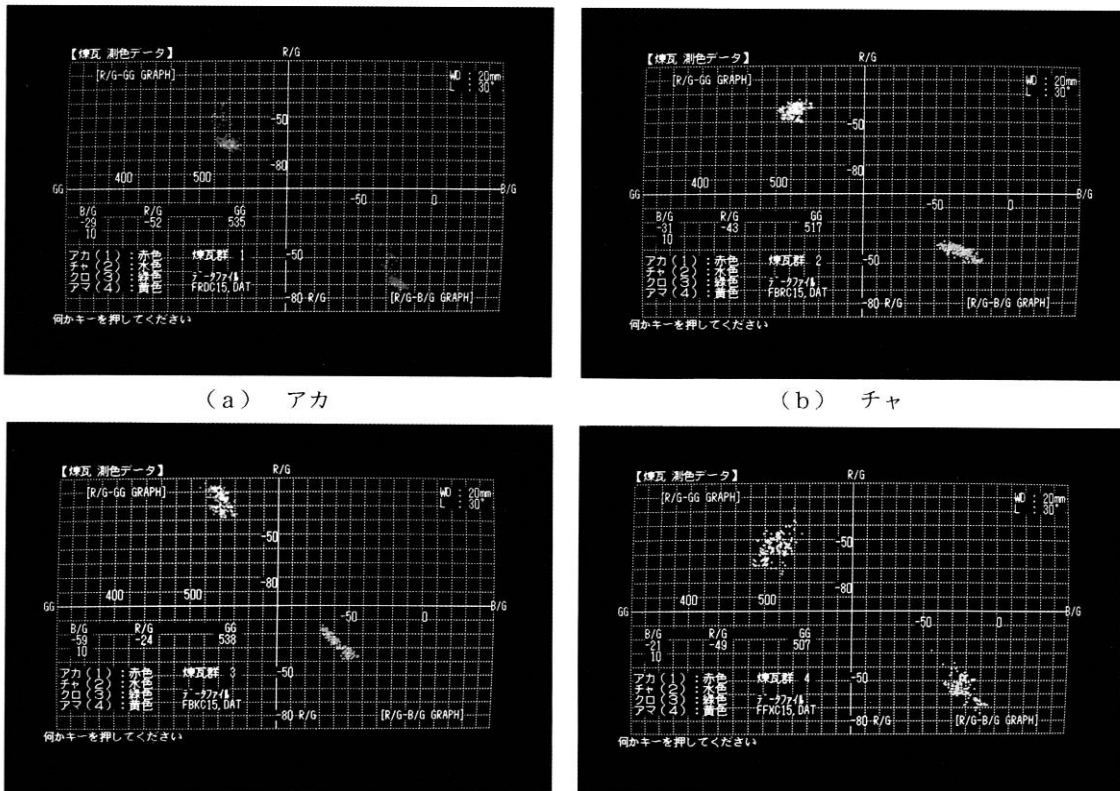


図8 色空間の6しきい値による切り出し

以下、各識別色に対するこのしきい値を求めるための計測実験を行った。すでに選別されている混在色の少ないレンガについて上面10カ所を計測した。大きさは210mmタイプで、以下計測実験においてはこのタイプを用いて行った。図9はセンサの角度30度、距離20mmで行ったフラットのレンガについての上面の計測データである。「アカ」、「チャ」、「クロ」、「アマ」の各レンガについて計測されており、R-G、R-Bのグラフが示されている。各色15個のレンガを計測し、したがって計測数は各色150になる。これらグラフから分かるように、各色のレンガが他の色のレンガと色空間が異なる配置にあり、各色についての切り出しの可能性のあることが分かった。図10にテッセラについての計測結果を示す。フラットと同様に各色のレンガ間に色空間の違いが見られた。



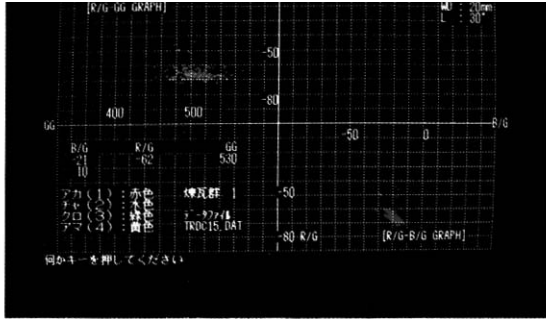
(a) アカ

(b) チャ

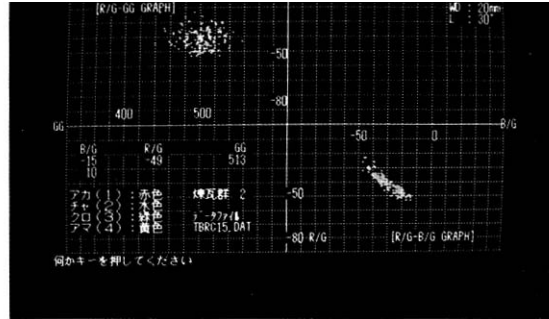
(c) クロ

(d) アマ

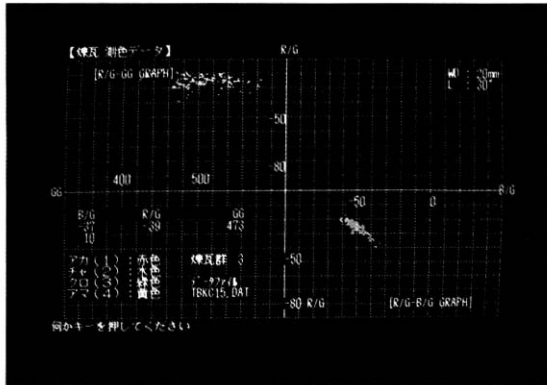
図9 レンガ上面測色データ (フラット)



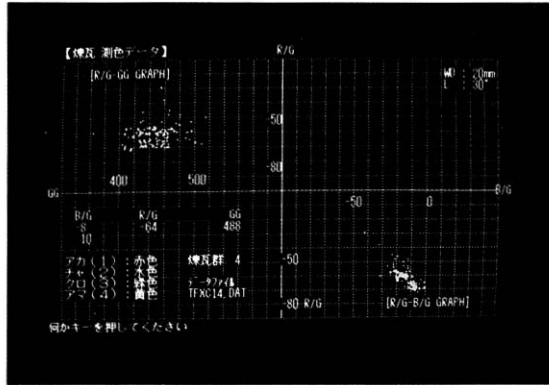
(a) アカ



(b) チャ



(c) クロ



(d) アマ

図10 レンガ上面測色データ (テッセラ)

以上の各色の異なる色空間にしたがった各色の切り出しのための6つのしきい値をこれらグラフから決定した。図11がフラット, 図12がテッセラについての各色のしきい値のグラフで, 特に, アマ色については斜線にてその領域を示し, 斜めで区切るしきい値設定がなされている。

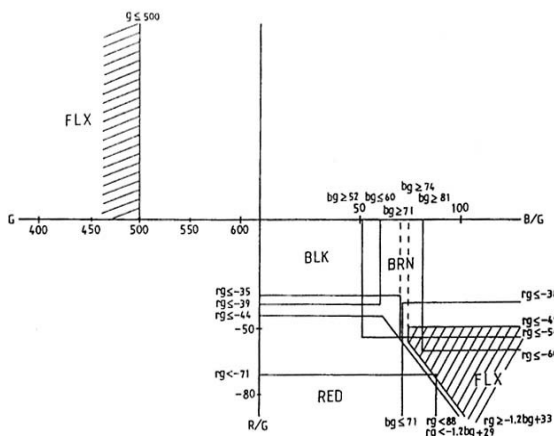


図11 6しきい値による色切り出し (フラット)

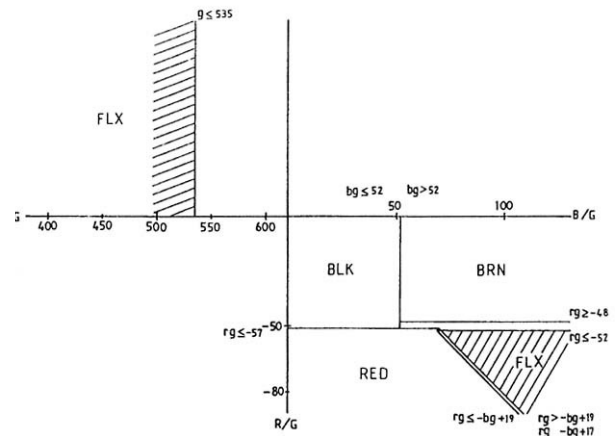


図12 6しきい値による色切り出し (テッセラ)

センサにより計測されたRGB値が, 図11, 12により決められたしきい値にしたがった色空間のどの位置にあるかを知って, その計測力所の色識別がなされる。次にこれら計測力所の色がレンガ上面にどのように分布しているかを知ることによって最終的にレンガ色判定が行われる。例えば, 「アカ」色と言われているレンガについても, レンガの両端にクロ色が分布している場合には「アカ」であるが, それが中央に分布していると「ブチ」色と判定される。このような色分布による評価は, 他の「チャ」, 「クロ」, 「アマ」についても適用し

なければならない。

2.5 センサ計測カ所

レンガ上面のこの分布計測を行うために、図 13 に示すように 2 個のセンサを長手方向に並行に設置し、センサ下を通過するレンガについて合計 20 カ所の計測を行い識別データとした。105mmタイプについては、計測カ所は 10 カ所になる。センサ間隔は 28mm、縦方向計測間隔は 19.6mm である。なお、センサを接近して用いる場合には、光干渉の問題が考えられるが、間隔を 15mm とした計測実験においても互いの干渉は見られなかったことから、19.6mm については干渉の影響はないと考えられる。

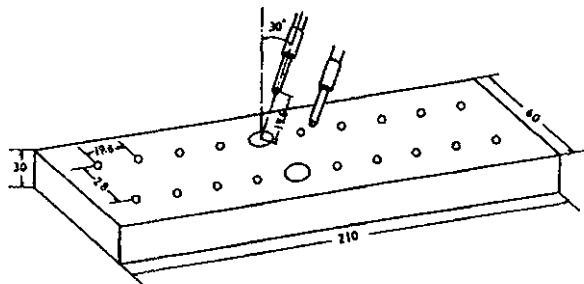


図13 センサー計測位置

2 本のセンサを用いることから、各センサの出力値を基準化するため、及びセンサの経年的変化の補正用として、校正用の色マスターを用いた。マスターは、サイズが、縦 60mm、横 60mm、高さ 25.5mm で、台に有機系フィラーを用いたウレタン系合成木材を用い、この上に厚さ 2mm のアルミプレートを入エポキシ系接着剤により固定している。このプレートの上面塗膜色が校正色になり、JIS 色名帳で 10R4 / 7 相当のレンガ色を用いており、自動車の耐候性に優れた塗料を使用している。

2.6 レンガ色識別フロー

色判定までのレンガ色識別フローを図 14 に示す。色空間の辞書に基づき、カラーマッチングにより各計測カ所の色識別がなされ、この色分布に基づいて最終的なレンガの色判定が行われる。例えば、測定カ所 20 カ所について、アカが 1 カ所以上あり、そこに存在するチャについては 9 カ所及びクロについては 6 カ所以下であれば、「ブチ」と判定される。なお、「ブチ」と判定するルールは複数個存在し、他の色についても同様に複数のルールが存在する。このように判定が終了したレンガについては結果をディスプレイに表示するとともに、判定色ごとに計数され、同時に分別システムへ識別制御信号が与えられ、仕分けされる。このような識別フローがフラット、テッセラの 210mm、105mm タイプ各々計 4 つについて用意されている。

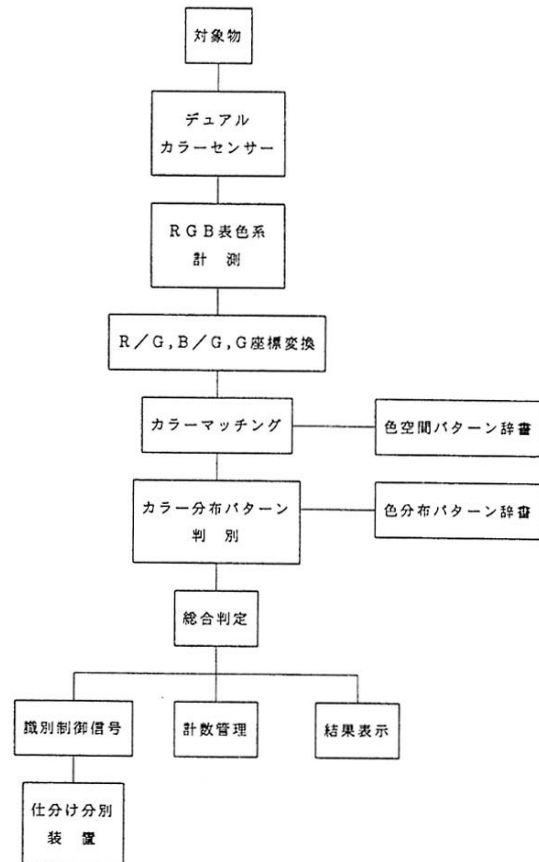


図14 レンガ色識別フロー

3. 識別装置のハードウェア構成

色識別フローを実現し、選別個数の計数管理及び仕分け(分別)システムの制御を行うのが、識別装置であり、図 15 に、そのハードウェア構成を示す。2 本のセンサからの信号は A / D 変換 (12 ビット) され、中央演算処理部 (CPU: 386sx, 32 ビット, クロック 20MHz) であるマイクロプロセッサで識別処理がなされる。その結果に基づいて制御部より仕分けシステムに制御信号が送られ、それとともにコントロールパネルに現在の選別計数値が表示される。

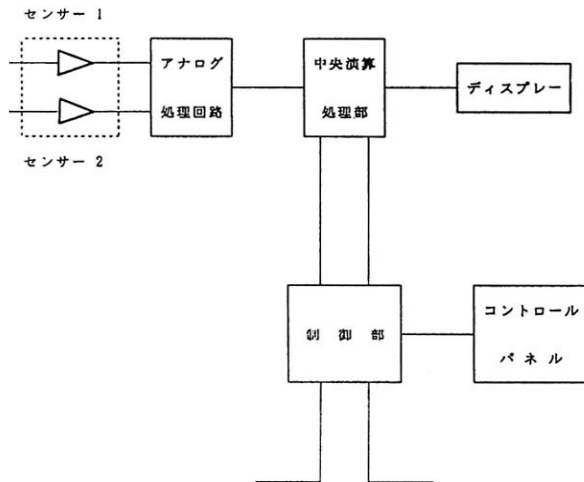


図15 色識別ハードウェア構成

センサアナログ信号の処理のブロック図を図 16 に示す。回路的には、カラーセンサ側へのノイズ進入を避けるために、トランス磁気結合型のアイソレーションアンプを用い、レンガ走査時（計測時）の機械的凹凸によるノイズを除去する上から 500Hz のローパスフィルタを用いている。A/D 変換は 12ビットで行い、ノートパソコンに取り込まれ処理され、結果にしたがって、シーケンサ（キーエンス製 KX40R 型、入力 DC24V）を介して、仕分けのためのチャネライザー（アキュレックス製）が制御される。また、計数管理表示はパソコンの CRT ポートに接続されたプラズマ・ディスプレイ（シーク技研製 SPD-610 型、EL ユニット 9.4 インチパネル）により行われる。

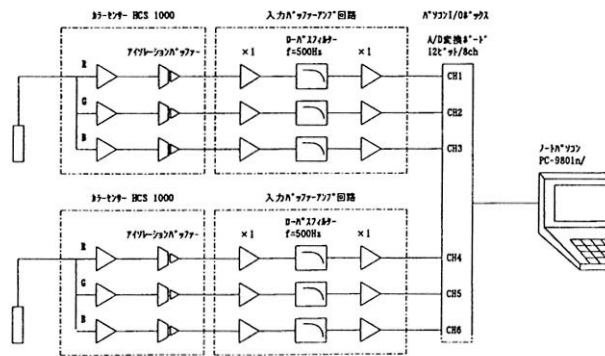


図16 センサアナログ信号ブロック図

4. レンガ色識別率と選別速度

本システムのフラット、テッセラ及びそれぞれ 210mm タイプと 105mm タイプの計 4 種別についてのレンガ色の識別率を表に示す。計測日を変えて行った 3 回の選別結果を示している。()内は、その際のテスト個数に対する正しく選別され

た個数である。識別率は、90%程度から100%までの範囲にあるが、この範囲以外の判定できなかったレンガについては人の判断によっても難しかったもので、別に分離される。したがって、実用の識別率はほぼ 100%と考えられ、これは、熟練者による選別に匹敵もしくはそれを越える能力である。

なお、分別など機械まわりを含めた選別速度は 1 秒に 1 個で、熟練者の選別速度の能力と同程度である。識別速度はマイクロプロセッサ性能に依存し、本装置では 1 秒に数個のレンガに対応可能である。

表 レンガ色識別率

テスト種類	1	2	3
フラット/長	98% (43/44)	93% (76/82)	94% (78/83)
フラット/短	94% (15/16)	100% (16/16)	88% (54/62)
テッセラ/長	89% (25/28)	90% (67/77)	92% (73/79)
テッセラ/短	100% (12/12)	100% (12/12)	91% (98/108)

5. 識別対象レンガの変更への対応

開発時の4種別のレンガと異なる図17のような別の色のテッセラ系のレンガについての選別の需要が生じたため、識別装置内の色空間パターンと色分布パターンの辞書変更作業を行った。

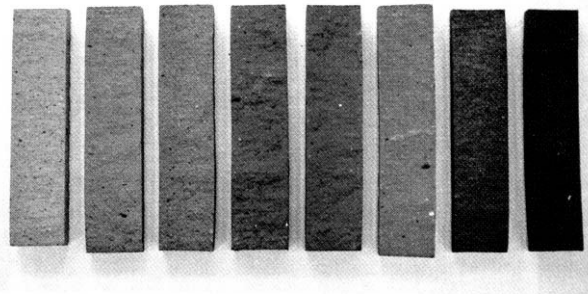


図17 対象レンガ

対象レンガの大きさは長さ 197mm、幅 43mm、厚さ 20mm 程度で、開発時レンガに比べ一回り小さいものである。ちなみに、選別は、図 17 の左から 4、5、7、8 番目のレンガについては同一の分別ラインで選別され、他は 1 ラインずつに分別され、合計 5 ラインによる選別とした。

図 18 に、このレンガについてのセンサによる上面計測データを示す。各種類の色のレンガが R-B 空間においてそれぞれ異なる領域を構成しており、左から 1、2、3 番目そして 6 番目のレンガで、下部の方向の領域塊が 4、5、7、8 番目のレンガになる。図 18 のデータに基づいて、開発時レンガと同様に、色マッチングのための色空間パターンと色分布の辞書を作成した。このソフト変更と搬送部の若干の調整によ

り対応することで、所定の選別を短時間で実現することができた。

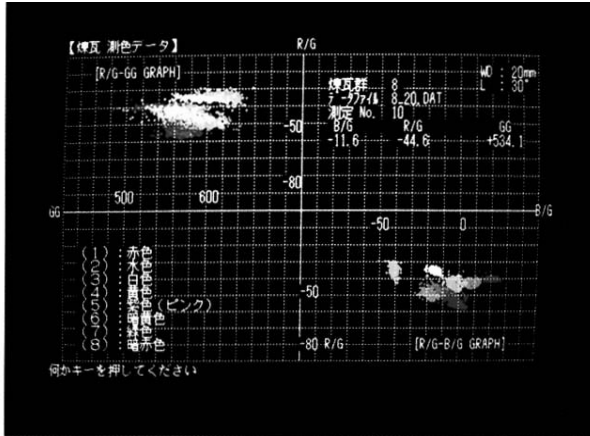


図18 レンガ上面測色データ

6. レンガ色自動選別装置

実用化した全体の選別システムは ①レンガ割り機から送られてくるレンガを受け取る整列部, ②搬送部, ③計測制御・識別処理部, ⑥分別テーブルを含む仕分け部からなっている。レンガ色自動選別システムの全景を図 19 に示す。

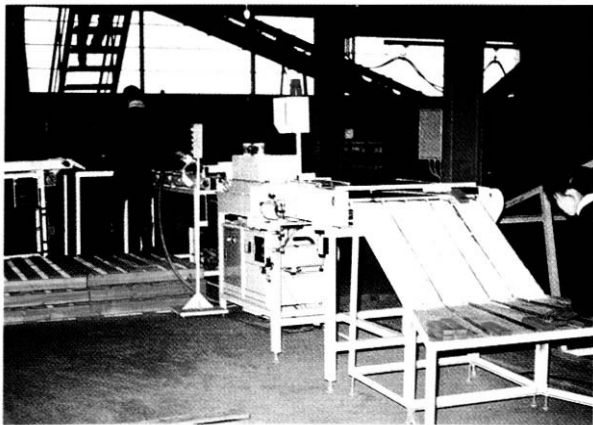


図19 レンガ色自動選別システム

色識別装置は全体システムの中核である③計測制御・識別処理部の機能を担うものであり、1) デュアル・カラーセン

サによるレンガ上面 20 箇所 RGB 表色系相当色計測部, 2) レンガ色空間パターン辞書によるカラーマッチング処理部, 3) レンガ色分布パターン辞書によるカラー分布パターン判別処理部, 4) 2), 3) の各処理に基づく総合識別部, 5) 計数管理・仕分け装置制御部の各処理部からなっている。ここで、2)～5) はマイクロプロセッサによる処理であり、センサの校正には基準色である色マスターを用いた自動校正法を適用している。装置全景を図 20 に示す。

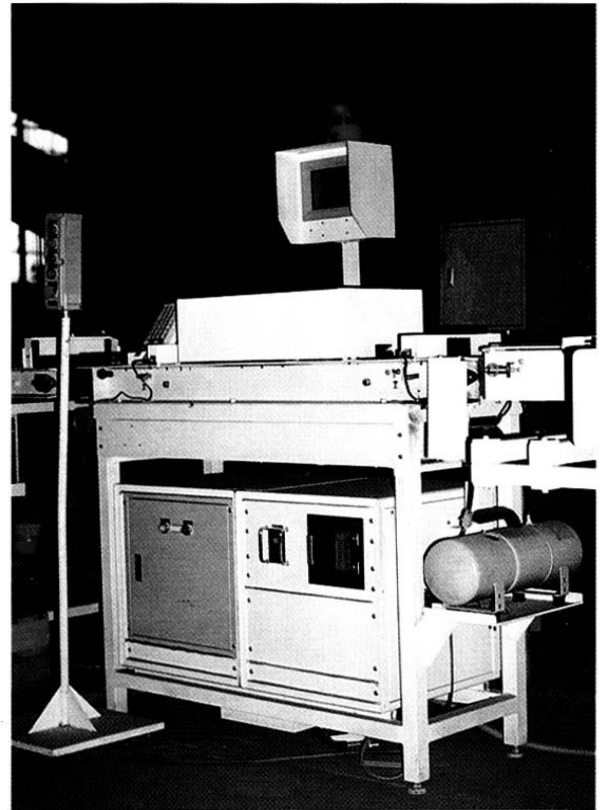


図20 レンガ色識別装置

図21 に、現在レンガ工場にて稼働している選別装置の外観図面を示す。割り機から送られてくるレンガはこの段付きコンベアに乗って整列コンベアに渡され、カラーセンサユニットを含む色識別装置により色判定され、仕分けコンベアにより選別され、分別テーブルに並べられる。システム・エリアは、5,600(L) × 5,050 (W) × 1,200 (H) (単位:mm) で、仕分けにはキャリア方式を採用している。

本システムにより実際に選別され、建築物に使用されたレンガの使用例を図 22 に示す。図のサッポロファクトリでは、本システムにより選別された 70 万個程度のレンガが用いられている。

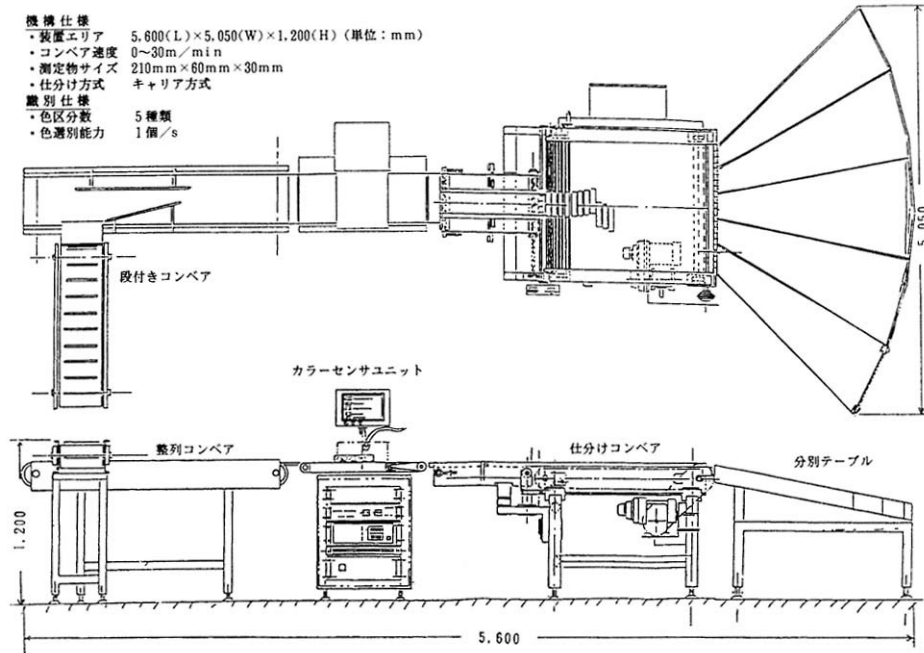


図21 レンガ色自動選別システム全体図



(a) 五番館西武デパート



(b) サッポロファクトリー

図22 レンガ使用例

7. おわりに

レンガ色自動選別システムを開発し、実用化した。本システムは、現在米澤煉瓦(株)において順調に稼働中である。

本システムの性能を以下の(1)~(4)に示す。

- (1) 選別速度は1個/s
- (2) 実用識別率はほぼ100%
- (3) 多種類の識別色数に対応可能
- (4) 識別装置の辞書作成の効率化による識別色変更への迅速な対応可能

また、この結果として、次の(1)~(4)に示す効果が得られた。

- (1) “レンガ色”という非常に曖昧な色を持つレンガの自動選別
- (2) 製品の計数管理に基づく安定供給
- (3) 高精度選別による高品質製品の維持
- (4) 熟練者による選別能力の1.5倍の省力化効果

なお、省力化効果の具体的な数字として、10万個のレンガ色選別に5名の熟練者が7日以上を要する工程を、未熟練作業でも5日で終了することができた。本システムは、用途及び色基準が異なるレンガの製造工程における色選別にも、柔軟に、かつ短期間で対応することができた。

今後は、本システムを道内煉瓦工場はじめ、道外窯業地域

にも積極的に市場展開して行くとともに、本識別装置を色判定が必要な農水産食品加工工程など多くの自動化分野に応用して行く予定である。

8. 謝 辞

本開発を進めるに当たり、米澤煉瓦(株)、新栄プラント(株)、中村鐵工(株)、(有)マイクロエースの各企業の御指導、御協力を頂き、ここに感謝の意を表します。また、産業デザイン部岩越研究員には色マスターの製作に御協力いただき併せて感謝の意を表します。