

## 2次元コードの刻印方法の比較と評価

Evaluation and Comparison of the Marking Methods of Two-dimensional Code

関 陽\*、平越 裕之\*

Yang Guan, Hiroyuki Hirakoshi

我々は微小な新2次元コードを考案してレーザー刻印とコードの識別を行ったが、1mm程度の極小サイズでは形の崩れによる誤識別が生じた。そこでレーザー刻印に代わりエッチング加工を使用して金属加工と読み取りを行い、レーザー刻印との読み取り精度の比較を行った。エッチング加工を用いた場合、1mm程度の極小サイズでも高精度な識別が可能で、レーザー刻印の場合の2mm～5mmサイズと同等かそれ以上の識別安定性を示すことを確認できた。

キーワード：エッチング加工、レーザー刻印、識別の安定性、2次元コード、読み取り

### I. はじめに

近年、製造企業の多くは自社製品の模倣品に悩まされており、その対策が求められている<sup>1)2)3)</sup>。このような流れに乗って、目視可能な公開マーカ、機械読取可能な非公開マーカ、プリンタ、アプリケーション、認証コード等の技術を含む偽造品防止市場も拡大し続けている。企業の知的財産権の保護対策の一つとして、自社製品に偽造防止ラベルを貼付したり印刷したりする方法がよく用いられている。一方、商品のトレーサビリティに対する要求が近年ますます高まっている。これは商品の生産段階から最終消費段階または最終使用段階までの流通経路を追跡・明示することを可能にするものであり、そのために商品個別の数字列・文字列を機械で簡単に読み取れるようにバーコードやQRコード<sup>4)5)</sup>、またICタグなどがよく使用されている。

一方、偽造防止ラベルやバーコード・QRコードなどはある程度の大きさを有し、小さい部品に直接使用できず、また金属などの材質に直接刻印することが難しいため、小さい製品や金属製品や電気部品などに利用しにくい。そこで我々は金属などに直接刻印できる微小な新2次元コードを考案し、レーザー刻印と読み取り撮影の実験を行った<sup>6)</sup>。また、テンプレートマッチングの手法を用いて撮影した微小な2次元コードの識別を行った<sup>7)</sup>。本稿では、レーザー刻印の際に発生する1mm程度の極小サイズで生じる形の崩れに起因する読み取りの誤識別の問題の対処として、レーザー刻印に代わりエッチング加工を用いて、刻印と読み取り実験を行い、1mm程度の極小サイズでも高精度な識別が達成できることを示す。

## II. 2次元コードとレーザー刻印の問題点

### 1. 2次元コード

新2次元コードは、金属などの材質に直接刻印でき、かつ1mm×1mmや2mm×2mm程度の微小領域に表現できるように、図1に示すように、“田”の字を構成する各直線分の組み合わせでコード要素パターンを作成する。計63種類あるコード要素パターンを2×2、3×3、4×4、5×5などの形に複数配置することによってコードを構成し、位置決めマークと枠線を補助的に追加して刻印を行う<sup>6)</sup>。

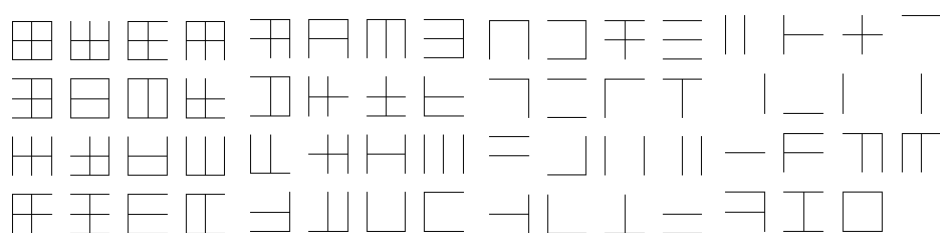


図 1. 63 種類のコード要素パターン

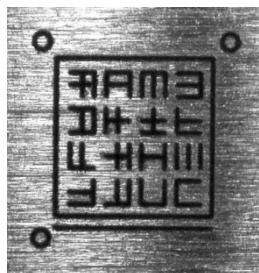


図 2. 4×4 で構成したコードの例

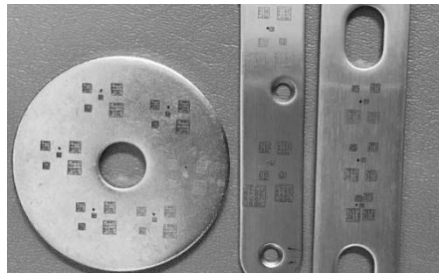


図 3. 異なるサイズと濃淡の刻印

図 2 はコード要素パターンを 4×4 の形で配置して構成したコードを撮影した例を示す。図 3 は金属板に異なるサイズと濃淡でコードを刻印した例である。このような構成で表現できるコードの組合せの数は 3×3 の場合は  $63^9$ 、4×4 の場合は  $63^{16}$  に達する。

### 2. レーザー刻印の問題点

我々は関・平越・上田 (2015)<sup>7)</sup> において、テンプレートマッチングなどの画像処理の手法を使って、レーザー刻印した微小な 2次元コードの識別を行った。テンプレートセットを使った実験によって有効な類似度尺度を明らかにし、コード識別手順を組み立てた。5mm、4mm、3mm、2mm 及び 1mm の異なるサイズのレーザー刻印のサンプルコードに適用した結果、サンプルコードをほぼ原形通りに刻印・撮影することができる 2mm 程度のサイズまでにコード識別が正しく行われたが、1mm サイズにおいてはいくつかの誤識別が発生した。以下にその一例を示す。

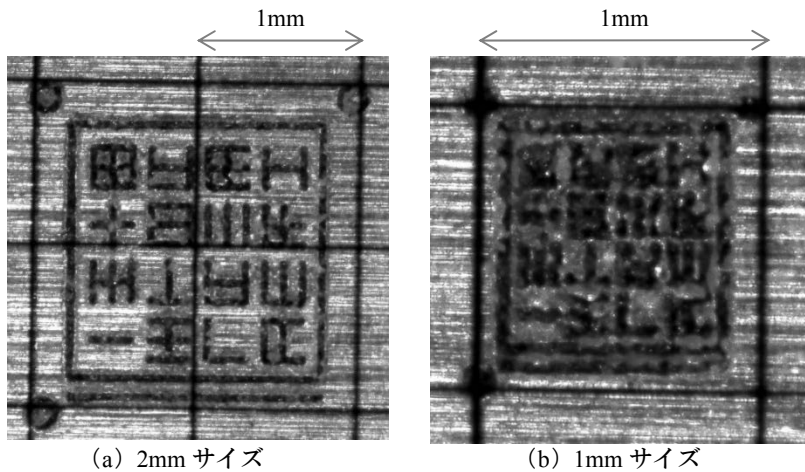


図4. レーザー刻印した2mm サイズと1mm サイズのコード（1mm 方眼スケールを被せて撮影）

図4は、1mm 方眼スケールを被せて撮影した2mm サイズと1mm サイズのコードのデジタル顕微鏡写真を示す。図5が示すように、図4(a)の2mm サイズのコードに対してテンプレートマッチングを用いたコード識別の結果、すべてのコード識別に成功した。図5において(a)はサンプルコードであり、(b)は識別した位置に識別したテンプレートを貼り合わせた識別結果である。

一方、図6(b)の五角形囲みが示すように、図4(b)のレーザー刻印した1mm サイズのコードに対するコード識別の結果、4つのコード要素の誤識別が発生した。図7に誤識別の4つのコード要素の拡大図を示す。図7の上段(a)は誤識別が発生した1mm サイズのコード要素の拡大図であり、図7の下段(b)は正しく識別できた2mm サイズの対応するコード要素の拡大図である。図7から分かるように、1mm サイズのコード要素の形が人間の目視でも判別できないほど形が崩れており、これに起因して誤識別が発生した。正しく識別するためには、レーザー刻印に代わる加工方法を工夫するなど、コード加工の精度を上げる必要があると考えられる。

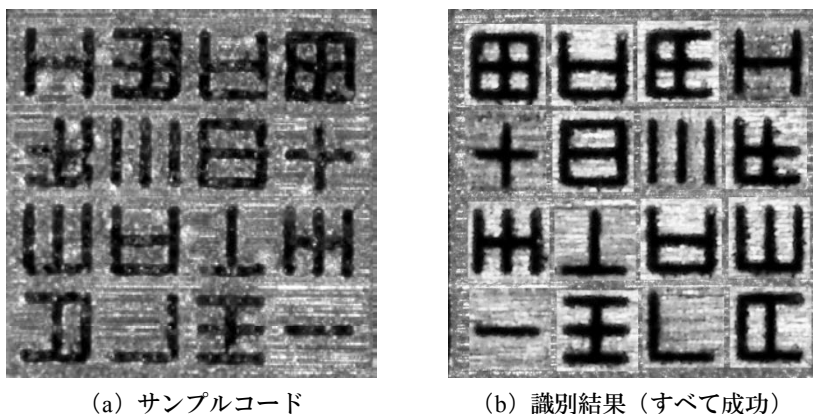


図5. レーザー刻印した2mm サイズのサンプルコードと識別結果

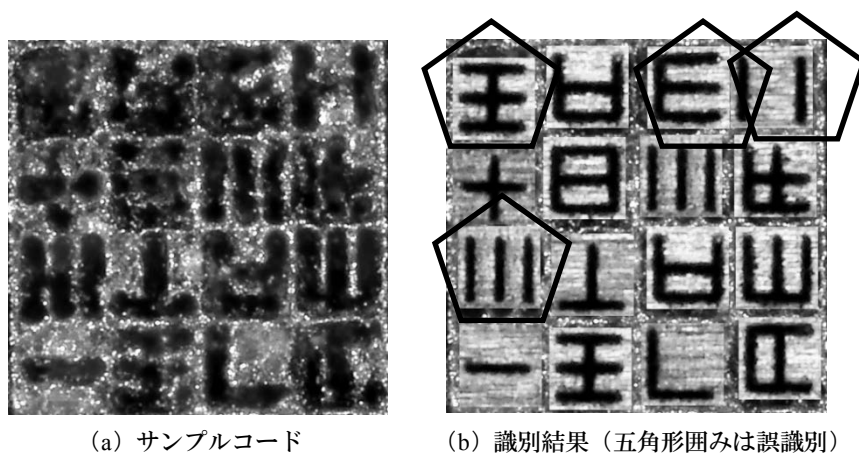


図 6. レーザー刻印した 1mm サイズのサンプルコードと識別結果

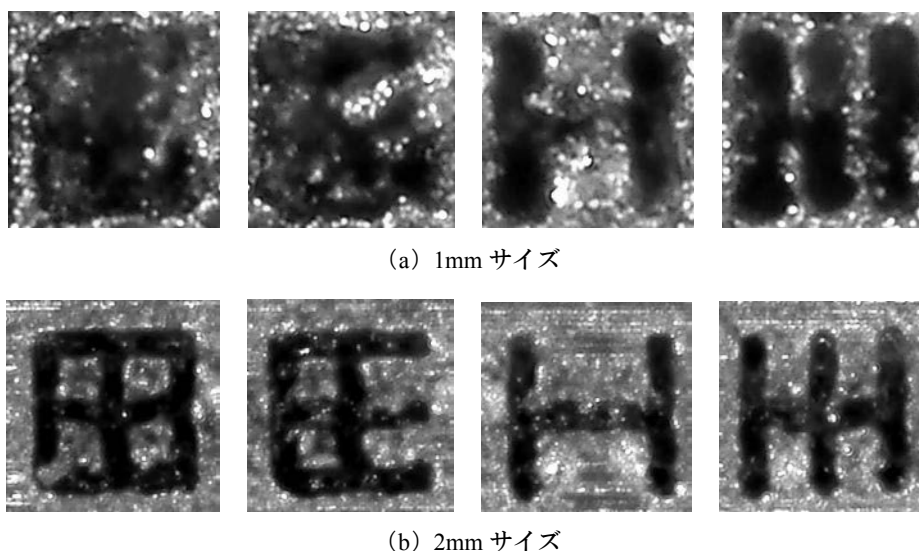


図 7. 誤識別のコード要素の拡大図

### Ⅲ. エッチングによるコード加工とその識別・比較

#### 1. エッチングとエレクトロフォーミングの検討

我々はレーザー刻印に代わる加工方法として、エッチングによる方法とエレクトロフォーミングによる方法を検討した。

エッチングは、酸などで腐食を起こさせて、金属表面に加工する方法である。通常印刷工程においては、エッチングによって原版を作成し、これを版画のようにして印刷を行う。

一方、エレクトロフォーミング（電鍍加工）は、電気メッキを利用した技術で、エッチングよりも微小な加工が可能である。しかし、現実的に印刷の版に利用しようとする、スクリーン印

刷のスクリーンマスクのようなものを作成するためには、穴をあけてしまう必要がある。そのため、スクリーン印刷では残るメッシュ部分が空白になり、マスク中の、いわゆる「孤島」のような部分（例えばアルファベットの“O”の字の中の空白）は支えられなくなってしまう。

本研究で提案した2次元コードは、例えば「田」の字のようにコードの中に空白が存在する場合があるため、エレクトロフォーミングによる方法は使用できない。故に、今回はエッチングを利用して金属に加工を行った。今回の実験では、表面にコードをエッチング加工した金属板を対象とした。

なお、今回のコードの金属への加工にはエレクトロフォーミングは使用できないが、将来コードを「孤島」の無いものに改良・改善すれば使用することが出来るので、さらに微細な加工が出来る可能性がある。

## 2. エッチングによる金属加工

精密加工が得意な複数の業者に依頼し、エッチングを利用して金属に2次元コードを加工した。図8に1mm方眼スケールを被せて撮影した写真の一例を示す。図8において(a)は2mmサイズのコードであり、(b)は1mmサイズのコードであり、(c)は0.5mm未満のサイズのコードである。

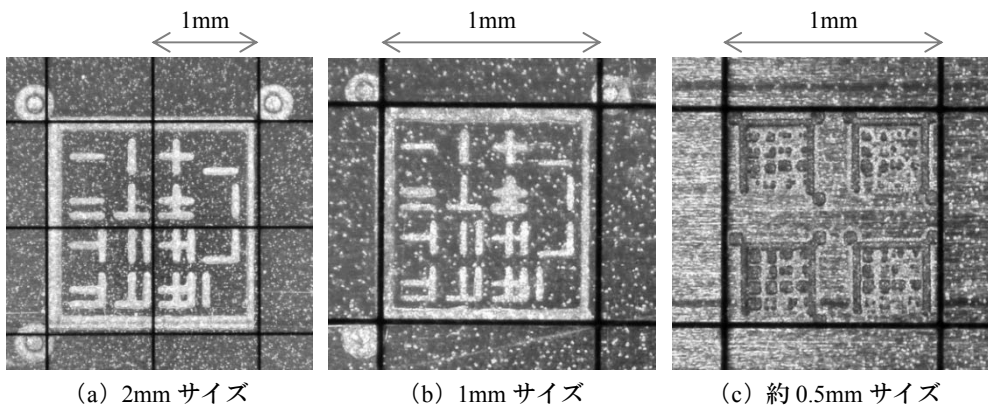


図8. エッチング加工によるコードの写真（1mm方眼スケールを被せて撮影）

エッチング加工の図8とレーザー刻印の図4を比較すると、レーザー刻印では1mmサイズのコードの写真に形の崩れが複数生じているが、エッチング加工では1mmサイズまでのコードの形がほぼ元の形を維持しており、レーザー加工と比較して倍程度の精度向上が実現できた。一方、エッチング加工でも、0.5mm未満のサイズでは形が大きく崩れている。加工の精度は使用する方法・設備の限界とともに加工条件にもかなり依存するが、今回と前回の実験によって、エッチング加工による精度が1mm程度までは維持され、0.5mm未満になると顕著に下がる一方、レーザー刻印のそれが1mmを境に下がるという結果を得た。これは、他の事項を所与とすれば、レーザー

刻印と比較した場合、エッチング加工の方が少なくとも二倍程度の精度を保持していると結論づけることができる。

### 3. エッチング加工のコードの識別と比較

図9に示す4種類の1mmサイズのエッチングによって金属加工したコードの写真に対して、テンプレートマッチングを用いたコード識別を行った。テンプレートマッチングは、テンプレートTを入力画像Iの上でずらしながら、重なった領域の類似度Rを計算して類似度マップを作成し、類似度マップから最大値を探索してその位置をテンプレート画像と最も類似する部分とする方法である。今回は類似度尺度として、最も効果の良い正規化相関係数（ZNCC、Zero-mean Normalized Cross-Correlation）を使った。これはテンプレートTと入力画像Iの類似度が次式

$$R(x,y) = \frac{\sum_{x',y'} (T'(x',y') \cdot I'(x+x',y+y'))}{\sqrt{\sum_{x',y'} T'(x',y')^2 \cdot \sum_{x',y'} I'(x+x',y+y')^2}}$$

のように計算するものである。ここでT'、I'は、それぞれ次式

$$T'(x',y') = T(x',y') - \frac{1}{(w \cdot h)} \cdot \sum_{x'',y''} T(x'',y'')$$

$$I'(x+x',y+y') = I(x+x',y+y') - \frac{1}{(w \cdot h)} \cdot \sum_{x'',y''} I(x+x'',y+y'')$$

のように、それぞれのテンプレート領域の平均値を引いた値である。

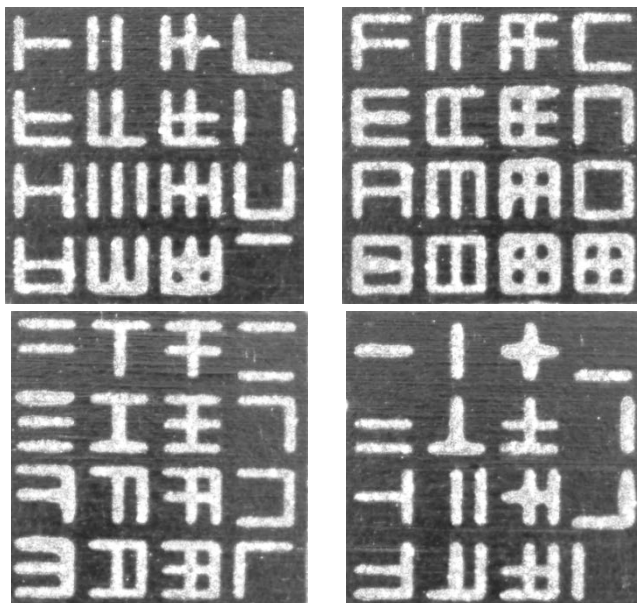


図9. 1mmサイズのエッチングによって金属加工したコードの写真

2mm サイズのエッチング加工による写真から 63 種類のテンプレートを作成し、それぞれのテンプレートを図 9 の各写真のコード範囲の上をずらしながら類似度を計算して、その中から最大の類似度を有するテンプレートを選び出して識別結果とし、最大類似度が現れる位置を識別位置とした。図 10 は識別した位置に識別したテンプレートを貼り合わせたものであり、識別の結果を示す。レーザー加工では図 6 に示すように 1mm サイズにおける識別に誤識別が発生したことに對して、図 10 から分かるように、エッチング加工によって、1mm サイズにおいてすべてのコード要素の識別が正しく行われた。

また、レーザー刻印の場合の各サイズの識別精度との比較のために、テンプレートマッチングにおける最大類似度と次席類似度の比較を行った。実験結果の詳細データを付録の附表 1 と附表 2 に示し、そのまとめを表 1 に示した。附表 1 と附表 2 において、「最一次」は最大類似度と次席類似度との差であり、「比率」は「最一次」が最大類似度に対する比率である。表 1 は簡潔のために附表 1 と附表 2 の中の最大値、平均値及び最小値の項目のみを示しており、詳しいデータについては附表 1 と附表 2 を参照されたい。正しい識別が行われた場合、最大類似度と次席類似度との差（及び差が最大類似度に対する比率）が高ければ高いほど誤識別の可能性が低く、コード識別の安定性が高いと言える。

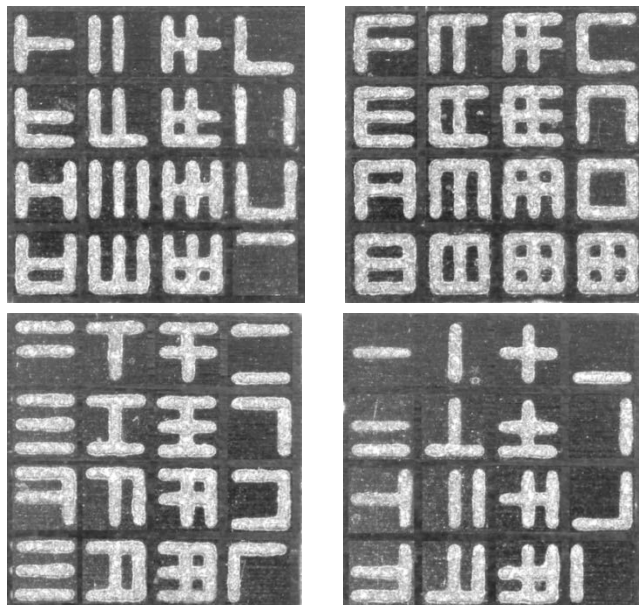


図 10. 1mm サイズのエッチングによって金属加工したコードの識別結果

表 1 から分かるように、レーザー刻印ですべての識別が成功した 2mm～5mm サイズにおいて、差が最大類似度に対する比率の平均値が 11.6%～12.1%、比率の最小値が 3.8%～8.1%の範囲に

入っている。一方、レーザー刻印で誤識別が発生した 1mm サイズにおいては、比率の平均値が 8.6%と 10%台を割り込むとともに、比率の最小値が 0.3%と、最大類似度と次席類似度がほとんど同じであるという結果になっている。事実レーザー刻印の 1mm サイズの識別においては、差が最大類似度に対する比率が 1%未満であるコード要素が複数出現し、それが誤識別に繋がったものである。レーザー刻印の場合と比較して、エッチング加工で 1mm サイズにおいて、最大類似度に対する比率は平均値が 16.5%、最小値が 4.2%であり、レーザー刻印の 2mm~5mm サイズと同等ないしそれ以上の識別の安定性を示している。

表 1. レーザー刻印との比較（最大類度・次席類似度）

		最大類似度	次席類似度	最-次	比率
エッチング1mm	最大値	0.890	0.751	0.275	32.1%
	平均値	0.807	0.671	0.135	16.5%
	最小値	0.584	0.519	0.033	4.2%
レーザー刻印1mm	最大値	0.619	0.489	0.135	21.8%
	平均値	0.480	0.435	0.044	8.6%
	最小値	0.314	0.292	0.001	0.3%
レーザー刻印2mm	最大値	0.790	0.729	0.112	19.7%
	平均値	0.703	0.624	0.080	11.6%
	最小値	0.519	0.416	0.044	6.3%
レーザー刻印3mm	最大値	0.723	0.645	0.135	24.3%
	平均値	0.623	0.547	0.076	12.1%
	最小値	0.394	0.371	0.022	3.8%
レーザー刻印4mm	最大値	0.866	0.755	0.150	24.6%
	平均値	0.754	0.665	0.089	11.8%
	最小値	0.593	0.460	0.026	4.4%
レーザー刻印5mm	最大値	0.829	0.742	0.132	23.4%
	平均値	0.716	0.633	0.083	11.8%
	最小値	0.566	0.433	0.054	8.1%

#### IV. おわりに

本研究では、偽造防止対策とトレーサビリティを考慮し、既存の偽造防止ラベル・バーコード・QRコードなどに代替する、金属などにレーザー加工で直接刻印できる微小な新たな 2次元コードを考案し、その実用化を目指している。本稿では、レーザー刻印の時に 1mm 程度の極小サイズで生じる形の崩れに起因する読み取りの誤識別の問題の対処として、レーザー刻印に代わりエッチング加工を用いて、金属加工と読み取り実験を行い、レーザー刻印との比較を行った。エッチング加工を用いた場合、1mm 程度の極小サイズでも高精度な識別が達成でき、レーザー刻印の場合の 2mm~5mm サイズと同等かそれ以上の識別安定性を示すことを確認できた。なお、現実の製品へのコード加工の方法を具体的に模索したり、さらに微細な加工が可能になる加工方法が利用できるようにコードそのものを見直したり、高速・簡易にコードを読み取ることができるようになっていくなどの課題が残る。



## 謝辞

本研究の一部は科研費(26540176)の助成によって実施したものであり、心より感謝致します。

## 引用文献

- 1) 特許庁：『2013年度模倣被害調査報告書』（2014年3月）
- 2) ARC Advisory Group：『Anti-Counterfeiting and Brand Protection』（2010）
- 3) ジェトロ上海センター知識産権部：『中国における偽造防止技術に関する実態調査報告書』（2010年3月）
- 4) 社団法人 日本自動認識システム協会：『よくわかるバーコード・二次元シンボル』（オーム社、2010）
- 5) 平本 純也：『知っておきたいバーコードの知識』（日本工業出版、2011）
- 6) 関陽、平越裕之、上田義朗：「偽造防止対策とトレーサビリティを考慮した新2次元コードとレーザー刻印・読み取りの実験」、流通科学大学論集－経済・情報・政策編、Vol.23、No.2、pp.131－140（2015年1月）
- 7) 関陽、平越裕之、上田義朗：「テンプレートマッチングを用いた微細な2次元コードの識別」、流通科学大学論集－経済・情報・政策編、Vol.24、No.1、pp.85－98（2015年7月）

附表 1. 最大類似度・次席類似度の実験結果 (エッチング 1mm)

番号	最大	次席	最-次	比率	番号	最大	次席	最-次	比率
1	0.828	0.649	0.178	21.6%	34	0.685	0.606	0.079	11.5%
2	0.835	0.698	0.137	16.4%	35	0.641	0.575	0.065	10.2%
3	0.829	0.705	0.124	15.0%	36	0.584	0.519	0.066	11.3%
4	0.813	0.694	0.119	14.6%	37	0.822	0.659	0.163	19.8%
5	0.857	0.715	0.142	16.5%	38	0.819	0.659	0.160	19.6%
6	0.857	0.724	0.134	15.6%	39	0.816	0.704	0.112	13.7%
7	0.852	0.701	0.151	17.7%	40	0.696	0.613	0.083	11.9%
8	0.841	0.725	0.117	13.9%	41	0.840	0.692	0.149	17.7%
9	0.790	0.667	0.124	15.6%	42	0.774	0.664	0.110	14.2%
10	0.834	0.715	0.120	14.4%	43	0.828	0.745	0.083	10.0%
11	0.804	0.726	0.077	9.6%	44	0.792	0.685	0.107	13.5%
12	0.790	0.699	0.091	11.5%	45	0.826	0.639	0.186	22.6%
13	0.821	0.634	0.187	22.8%	46	0.863	0.661	0.202	23.4%
14	0.868	0.690	0.178	20.5%	47	0.834	0.668	0.166	19.9%
15	0.874	0.732	0.142	16.2%	48	0.853	0.657	0.196	22.9%
16	0.855	0.581	0.275	32.1%	49	0.851	0.625	0.226	26.6%
17	0.727	0.652	0.075	10.3%	50	0.824	0.673	0.151	18.3%
18	0.745	0.667	0.079	10.5%	51	0.814	0.638	0.176	21.7%
19	0.775	0.681	0.094	12.2%	52	0.781	0.712	0.069	8.8%
20	0.715	0.660	0.056	7.8%	53	0.834	0.639	0.194	23.3%
21	0.798	0.722	0.076	9.5%	54	0.839	0.681	0.158	18.8%
22	0.778	0.695	0.082	10.6%	55	0.846	0.746	0.100	11.8%
23	0.784	0.751	0.033	4.2%	56	0.805	0.686	0.119	14.8%
24	0.740	0.690	0.050	6.8%	57	0.851	0.631	0.220	25.9%
25	0.801	0.663	0.138	17.2%	58	0.819	0.680	0.140	17.1%
26	0.762	0.687	0.075	9.8%	59	0.883	0.702	0.181	20.4%
27	0.787	0.713	0.074	9.4%	60	0.799	0.709	0.090	11.2%
28	0.735	0.656	0.079	10.8%	61	0.889	0.615	0.274	30.8%
29	0.812	0.640	0.172	21.2%	62	0.890	0.650	0.240	26.9%
30	0.846	0.667	0.179	21.2%	63	0.870	0.628	0.241	27.8%
31	0.801	0.690	0.110	13.8%	64	0.888	0.619	0.270	30.4%
32	0.727	0.668	0.059	8.1%	最大値	0.890	0.751	0.275	32.1%
33	0.798	0.631	0.167	20.9%	平均値	0.807	0.671	0.135	16.5%
					最小値	0.584	0.519	0.033	4.2%

附表 2. 最大類似度・次席類似度の実験結果（レーザー刻印）

番号	レーザー刻印1mm				レーザー刻印2mm			
	最大	次席	最-次	比率	最大	次席	最-次	比率
1	0.378	0.377	0.001	0.3%	0.750	0.692	0.058	7.7%
2	0.411	0.392	0.018	4.5%	0.553	0.487	0.066	12.0%
3	0.526	0.489	0.037	7.0%	0.790	0.682	0.108	13.7%
4	0.460	0.457	0.003	0.6%	0.519	0.416	0.102	19.7%
5	0.449	0.383	0.066	14.7%	0.710	0.642	0.068	9.5%
6	0.470	0.452	0.018	3.9%	0.733	0.639	0.095	12.9%
7	0.566	0.487	0.079	13.9%	0.680	0.569	0.111	16.3%
8	0.447	0.445	0.002	0.5%	0.745	0.667	0.077	10.4%
9	0.314	0.292	0.023	7.2%	0.752	0.671	0.082	10.9%
10	0.537	0.462	0.076	14.1%	0.689	0.645	0.044	6.3%
11	0.512	0.457	0.055	10.8%	0.757	0.695	0.063	8.3%
12	0.619	0.484	0.135	21.8%	0.651	0.539	0.112	17.2%
13	0.506	0.400	0.106	20.9%	0.714	0.640	0.074	10.4%
14	0.507	0.461	0.046	9.1%	0.701	0.610	0.092	13.1%
15	0.520	0.487	0.033	6.3%	0.779	0.729	0.050	6.4%
16	0.451	0.441	0.010	2.1%	0.731	0.656	0.075	10.3%
最大値	0.619	0.489	0.135	21.8%	0.790	0.729	0.112	19.7%
平均値	0.480	0.435	0.044	8.6%	0.703	0.624	0.080	11.6%
最小値	0.314	0.292	0.001	0.3%	0.519	0.416	0.044	6.3%

番号	レーザー刻印3mm				レーザー刻印4mm			
	最大	次席	最-次	比率	最大	次席	最-次	比率
1	0.705	0.645	0.059	8.4%	0.781	0.690	0.091	11.6%
2	0.540	0.509	0.031	5.7%	0.593	0.567	0.026	4.4%
3	0.666	0.633	0.032	4.8%	0.772	0.706	0.066	8.6%
4	0.394	0.371	0.023	5.8%	0.610	0.460	0.150	24.6%
5	0.673	0.590	0.084	12.4%	0.738	0.664	0.074	10.0%
6	0.661	0.567	0.093	14.1%	0.778	0.692	0.086	11.0%
7	0.557	0.421	0.135	24.3%	0.663	0.587	0.076	11.5%
8	0.676	0.576	0.100	14.8%	0.779	0.683	0.095	12.3%
9	0.723	0.629	0.094	13.0%	0.797	0.726	0.071	9.0%
10	0.573	0.533	0.040	6.9%	0.744	0.648	0.096	12.9%
11	0.644	0.558	0.086	13.4%	0.816	0.724	0.092	11.3%
12	0.539	0.413	0.126	23.4%	0.791	0.643	0.148	18.7%
13	0.564	0.542	0.022	3.8%	0.735	0.636	0.099	13.5%
14	0.665	0.559	0.106	16.0%	0.784	0.725	0.059	7.5%
15	0.686	0.621	0.065	9.4%	0.821	0.755	0.066	8.1%
16	0.702	0.584	0.117	16.7%	0.866	0.741	0.125	14.4%
最大値	0.723	0.645	0.135	24.3%	0.866	0.755	0.150	24.6%
平均値	0.623	0.547	0.076	12.1%	0.754	0.665	0.089	11.8%
最小値	0.394	0.371	0.022	3.8%	0.593	0.460	0.026	4.4%

附表 2. 最大類似度・次席類似度の実験結果（レーザー刻印）（続き）

番号	レーザー刻印5mm			
	最大	次席	最-次	比率
1	0.829	0.742	0.087	10.4%
2	0.625	0.537	0.088	14.1%
3	0.774	0.699	0.075	9.6%
4	0.566	0.433	0.132	23.4%
5	0.798	0.699	0.099	12.4%
6	0.787	0.713	0.074	9.3%
7	0.663	0.580	0.083	12.5%
8	0.782	0.713	0.069	8.9%
9	0.741	0.668	0.073	9.8%
10	0.690	0.608	0.083	12.0%
11	0.671	0.617	0.054	8.1%
12	0.666	0.601	0.065	9.8%
13	0.650	0.582	0.067	10.4%
14	0.735	0.647	0.088	12.0%
15	0.723	0.651	0.072	9.9%
16	0.750	0.633	0.117	15.6%
最大値	0.829	0.742	0.132	23.4%
平均値	0.716	0.633	0.083	11.8%
最小値	0.566	0.433	0.054	8.1%