

# カラー画像評価システム

大瀧 登

画像品質のよしあしを判定する場合、人の視覚系による主観的評価法と物理量で表せる客観的評価法がある。主観的評価法例としては、限度見本を作成し、プリントされたサンプルと見比べてそのよしあしを判定する方法があるが、人によってその判定の再現性が異なるという問題や作業能率が劣るという問題がある<sup>1)</sup>。計測値で表現できれば、その再現性や効率の問題が解消できる。

特に、画像品質の判定基準を製品の企画、研究、開発、設計、製造、保守などの各工程で統一的な計測値で管理できれば、最終ユーザーに常に安定した品質の商品を提供できることになる。この意味でも、安価で簡易な画質評価システムを開発することは我々にとって重要な課題であった。

一方で、カラーの画像品質を評価する項目は多岐に渡っている。例えば、色再現範囲、階調性、装置の色経時変化、色の均一性（色ムラ）、光沢、粒状性（グレイニネス）、色ずれ、印刷の位置精度、ピッチバリエーション、その他のノイズ系（かぶり、斑点、帯／すじ、残像、かすれ、汚れ、など）、解像度、シャープネス（文字／線の鮮明さ）、などがある。

色の測定に関しては、いろいろなものが市販されている。ハンディタイプの測色計から、X-Yスキャン付きで自動読み取りが可能な測色計、X方向のみであるが1分間に約900のバッチもの高速読み取りができるものまである。我々もこれらを用途によって使い分けている。

今まで主観的評価に頼っていた項目で、重要と思われる画質要因を抽出し、定量値で計測できる画像評価システムを開発したのでここに紹介する。

この画像システムは現在製品開発／設計の段階で使われており、成果を上げている。また、本システムは工場の試験工程でも使われていて工場出荷時の品質安定化にも貢献している。

## カラー画像評価システムの概要

本システムの構成を図1に示す。一般に市販されているカラーレスキャナ①を採用し、パソコン②に接続するだけ

でシステムを構築している。スキャナにプリントサンプル③をセットし、パソコンからの指示によりプリントサンプルをスキャンし、プリントサンプルの画像データがデジタルデータに変換される。変換されたデジタルデータはケーブル④を介してパソコンに取り込む。取り込んだプリントサンプルの画像データをパソコンのソフト処理で解析し、その計測値を算出する。

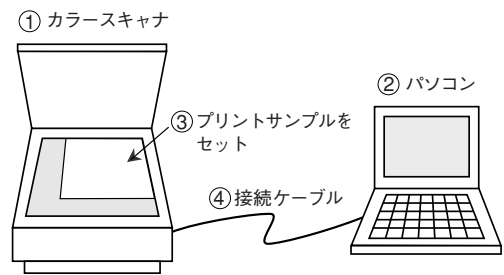


図1 簡易型画像評価システム

スキャナの解像度は最高で1600dpiのものを採用しているが、一般には解像度を高くすればするほどその読み取り速度は遅くなってしまふ。そこで、目的ごとに最適な解像度を設定するようにしている。

以下、色ずれ、かぶり、粒状性（グレイニネス）、CTF（解像度）、およびピッチバリエーションの画質の計測方法について説明する。

## 色ずれ

タンデム方式の一つの問題として色ずれがある。カラー画像を直接媒体に順次形成していくため媒体の送り速度が均一でないとき各色の印刷位置がずれてしまう問題である。世の中のタンデム方式カラープリンタ機は色ずれの自動補正機能を持ってはいるが、部品の精度の問題などがあって完璧に補正することは困難であり、100μm程度の色ずれが発生していると言われている。

色ずれの要因としては、媒体搬送の速度変動、レジスト速度変動、定着速度変動、駆動ギヤ精度、感光ドラムの偏心、負荷変動、温度上昇による部品の膨張、などが挙

げられる。これら色ずれ要因を分析する上でも色ずれを高速に測定する手段が必要となっていた。

色ずれ測定に使用するパターンを図2に示す。色ずれパターンの上部には、K（ブラック）C（シアン）M（マゼンタ）Y（イエロー）の順に等間隔で並べられ、下部にはKのみが等間隔に並べられている。

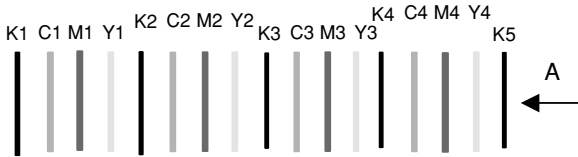


図2 色ずれパターン

スキャナ解像度は読み取り速度を考慮して400dpi（1インチ当たり400ドットの解像度）に設定して色ずれパターンを読み取る。図2の矢印A位置を読み取り、そのうちK線のみを抽出したものを図3に示す。横軸が400dpi単位（63.5μm）のドット列、縦軸がこれらドットのスキャナ読み取り値（輝度値）を表している。輝度値が高いところは、色ずれパターンの白色部、輝度値が低いところはK線を示していることになる。この輝度値が低いドット間のピッチを計測して位置を算出してもよいが、精度としては63.5μmになってしまう。

そこで、色ずれ精度を高めるため、図4に示すようにスキャナ輝度が小さな3点を抽出し、その3点の輝度値から近似曲線を求め、最小輝度値を計算する。これによって各線の位置をミクロン単位で予測できる。これら位置をK1, K2, …, Knとして記憶しておく。

矢印A位置で読み取った他色のものも同様に抽出して、計測する。例えばC（シアン）線の輝度値が低い3点からC線の各位置C1, C2, …, Ci, …, Cnを算出する。

C1位置に相当するK位置は、(K2-K1)を4等分したものを代用する。Kに対するCの色ずれ量 $\Delta K/Ci$ は、次のようになる。

$$\Delta K/Ci = Ci - Ki - (Ki+1 - Ki) / 4$$

同様に、Kに対するM, Cの色ずれ量 $\Delta K/Mi$ ,  $\Delta K/Yi$ も求めることができる。

$$\Delta K/Mi = Mi - Ki - 2 \times (Ki+1 - Ki) / 4$$

$$\Delta K/Yi = Yi - Ki - 3 \times (Ki+1 - Ki) / 4$$

このようにして計測された色ずれをグラフ上にプロットすると図5のようになる。図5から、色ずれに周期性があることがはっきりしている。これをさらに周波数分析すれば、その要因などが解析できることになる。

なお、光学顕微鏡を用いてマニュアルで測定した色ず

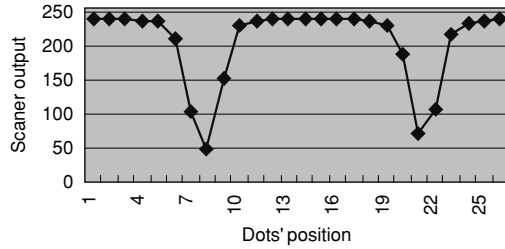
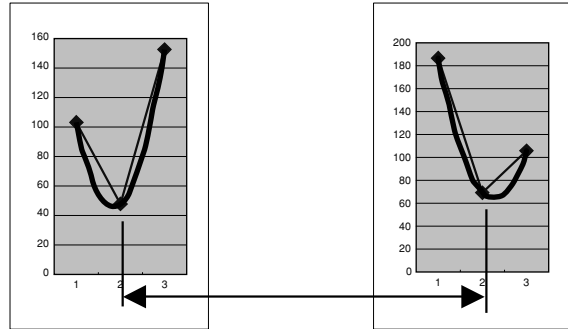


図3 スキャナ読み取り値



線1の拡大図

線2の拡大図

図4 線1の拡大図 線2の拡大図

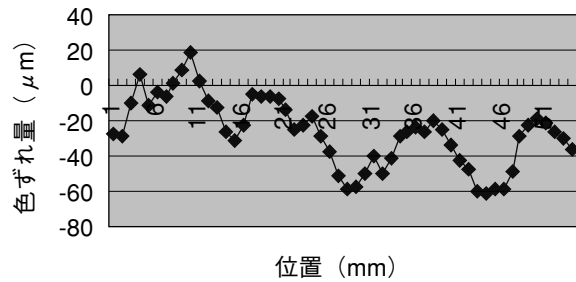


図5 色ずれ周期

れ量と画像評価システムで計測した色ずれ量はほぼ一致した値を示した。

### かぶり

かぶりとは、本来印刷されてはならない用紙の白地部にトナーが微量転写されてしまい、白地部が多少汚れて灰色に見える現象のことを言う。かぶりは画質の総合評価値を決定する上で重要な画質パラメータとされている。下地（Background）の汚れの度合いを表すものとしては、プリントサンプルの白地部の濃度値と印刷されていない用紙の白色部の濃度値を相対比較して行う方法がある。しかし、極少量のトナーによる灰色であるため、濃度値としては本来の白色とほとんど変わらない濃度値を

示し物理量としての比較にならないことが多い。そのため、各種段階の限度見本を用意し、プリントサンプルと見比べて、主観的な評価を行っていることが現実である。先に述べた通り、主観的評価方法にはいろいろな問題がある。また、トナーの粒子サイズが異なると、同じ濃度であっても見え方が違ってくるとい問題も潜んでいる。

プリントサンプルのかぶり部をスキャナ（解像度1200dpi, モノクロモード）で読み取って、その読み取り値、すなわち輝度値の分布をグラフにすると図6のようになる。かぶり部は微量なトナーが用紙上に分散しているため、そのトナーを読み取った部分の輝度値は白色部の輝度値よりは小さく、逆にトナーが存在しない白紙部の輝度値は大きくなって表れる。

これらの全輝度値の平均値をDとすれば、標準偏差σは次式で求められる。

$$\sigma = \sqrt{\{\sum (D_i - D)^2\} / (N - 1)}$$

ここで、Nは輝度値の総サンプル数、D<sub>i</sub>はスキャナで読み取った各輝度値を示す。σを求めれば、平均値からの散らばり方が得られる。小さい輝度値が増えれば、輝度値のばらつきも大きくなり、標準偏差σも大きくなる。

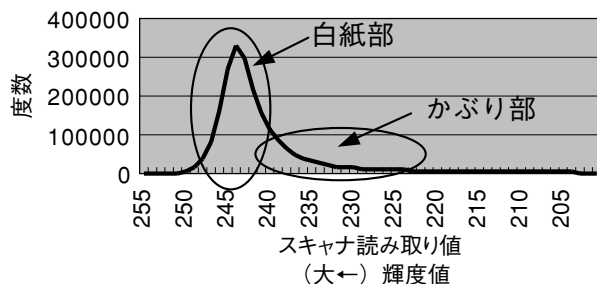


図6 かぶりサンプルの輝度値分布

この標準偏差σでかぶりの物理量を代用できないか検討した。我々が今までに使用してきたかぶりの限度見本をこの画像評価システムで読み取り、標準偏差σを求めた。限度見本レベルとσとの関係をプロットすると図7が得られた。

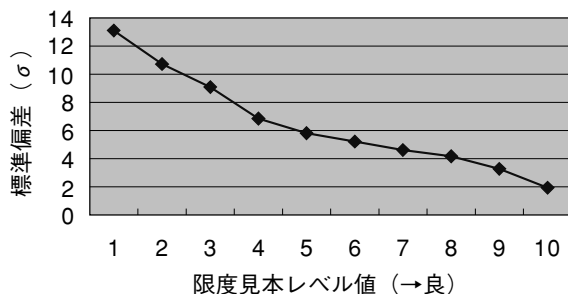


図7 限度見本レベルと標準偏差σの関係

この関係をパソコンに記憶させておき、計測したσ値から限度見本レベル値に置き換えることとした。こうすることによって、従来から使ってきた限度見本方式の継承ができるとともに、個人差が現れる主観的評価から、計測値による客観的判断に委ねることができる。

## 粒状性（グレイニネス）

オーディオ機器における音質の劣化要因として、ノイズがあるのと同じように、画像においてもその品質を劣化させるノイズ問題がある。電子写真においてはトナー粒径が銀塩や印刷などに比べて大きいため、紙上のトナーで形成されたドットは粒状に分布している。また、その大きさがまちまちに分散して画像上にざらつき感として現れる。このざらつき感のノイズを粒状性（グレイニネス）と呼んでいる。カラー画質を評価する中で、最も重要な画質パラメータの一つである。

この粒状性はトナーの粒状分布のばらつきとして表れているので、各ドットの濃度分布のばらつき、すなわち標準偏差σを求められれば、粒状性を計測できることになる。

微量なトナーのチリなどを読み取る必要があるため、スキャナの解像度は最大の1600dpiとする。

図8にスキャナで読み取った画像データの拡大図を示す。このように、実際の印刷物の各ドットはある傾き、いわゆるスクリーン角度をもって配列されている。このスクリーン角度を求める必要がある。画像データの中央付近の最小輝度点（濃度最大点）を求める。図8の塗りつぶし枠の黒点がこれに該当する。中央のドットはこの塗りつ

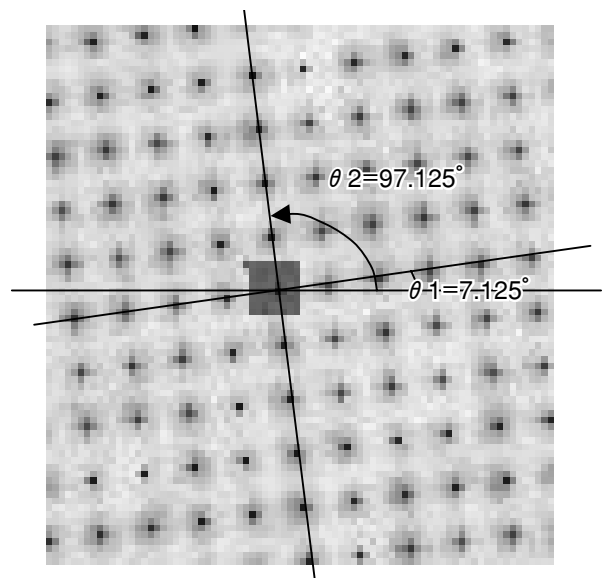


図8 画像データの拡大図

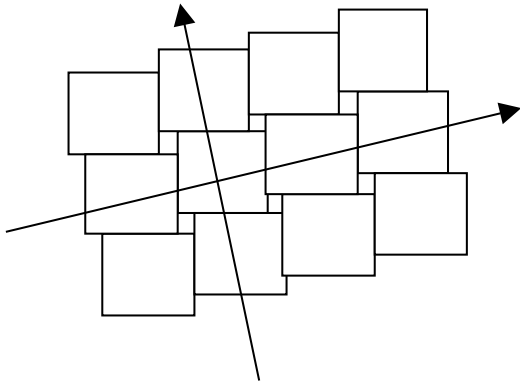


図9 スクリーンの模式図

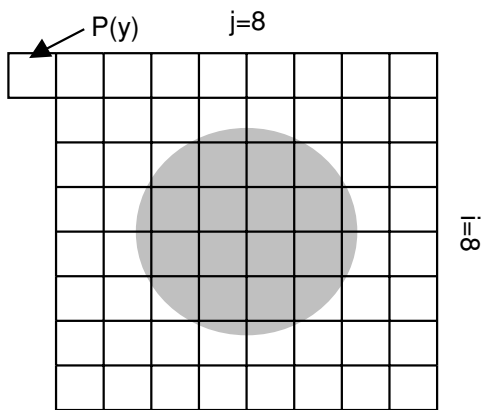


図10 枠とピクセルの関係

ふし枠で囲まれることになる。この中央点から各角度の輝度値の総和を計算し、この中からその最小値を検索することによって2本のスクリーン線が求まる。図8の例では $\theta_1=7.125^\circ$ と $\theta_2=97.125^\circ$ が求まる。

これを模式的に示すと図9のようになる。図8の中央塗りつぶし部の形をさらに拡大したものを図10に示す。図10に示す一つ一つのマス目がスキャナの画素（ピクセル）に相当する。

図10の例では、1ドットが $8 \times 8 + 1 = 65$ ピクセルで構成される。各ピクセルの輝度値 $P(i, j)$ から1ドットの濃度値 $D'$ を計算する。濃度とは光の反射率を対数にしたものである。その定義から次式が得られる。なお、濃度値は単位を持っていない。

$$D' = -\log \left[ \frac{\sum P(i, j) + P(y)}{65 \times 255} \right]$$

( $i=1 \sim 8, j=1 \sim 8, P(y) \dots$  図10参照)

スクリーン角度が分かっているので、図9に示す各枠の濃度値も同様にして上式から求めることができる。

求められた各ドットの濃度値 $D_n$ から全濃度値の平均値 $Ave$ と、そのばらつきを表す標準偏差 $\sigma$ を求める。

$$Ave = (\sum D_n) / N \quad N: \text{総ドット数}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (Ave - D_n)^2}{N - 1}}$$

この $\sigma$ 値が大きいと言うことは、各ドットのばらつきが大きい、すなわち粒状性（グレイネス）が悪いということになる。

ここで、濃度値がそれぞれ0.15, 0.22, 0.29, 0.35の各プリントサンプルをスキャナで読み取り、その $\sigma$ 値を求め、その濃度と $\sigma$ 値の関係をプロットすると図11に示す結果が得られた。

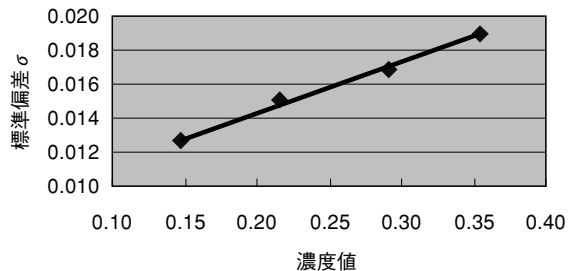


図11 濃度と $\sigma$ との関係

図11から濃度値と $\sigma$ は比例関係にある。この比例式から、求めた $\sigma'$ を濃度0.30に相当する $\sigma$ 値に換算するようにした。同じハーフトーン画像を各社の装置で印刷しても、濃度は装置によってかなり異なる。他社機との比較も行えるように濃度0.30の $\sigma$ 値で粒状性（グレイネス）を代表するようにした。

また、我々は今まで粒状性（グレイネス）の評価は限度見本との比較で行ってきた。この評価法との継承もあるので、レベル3～10の限度見本の $\sigma$ を求めてみた。その結果を図12に示すが、反比例関係を示している。

かぶりの場合と同様に、計測した $\sigma$ 値を限度見本レベルの値に置き換えて使用することとした。

Magenta Graininess限度見本と濃度0.30 $\sigma$ との関係

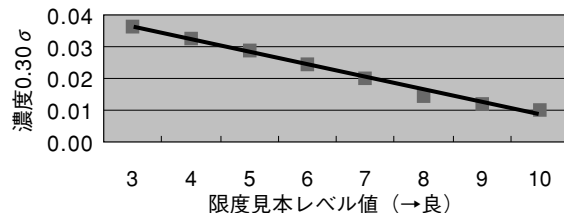


図12 限度見本レベルと $\sigma$ との関係

### CTF（解像度）

CTFとは、Contrast Transfer Functionの略であり、プリンタの解像度の実力を調べる上で、重要な印刷品質

の指標である。

CTFの算出方法は、図13に示すような線間距離が小さく（例えば0.1mm）、均等間隔で並んだ線群の画像を印刷する。

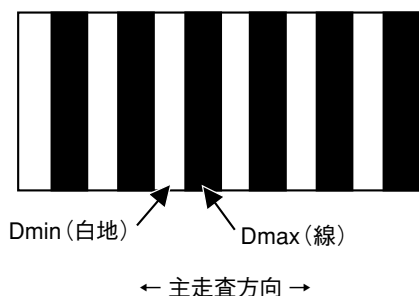


図13 CTFパターン

そのプリントサンプル画像をスキャナで読み取り、黒色部の線濃度をDmax、線間における用紙の白地部の濃度をDminとすると、CTFは

$$CTF = \frac{D_{max} - D_{min}}{D_{max} + D_{min}} \times 100$$

で表される。

しかし、上記濃度を一般に使われている濃度測定器で測定するには高価なマイクロ濃度計が必要になり、また線群が多くなるにつれて作業時間もかかってしまう。

この画像評価システムは、線間距離が小さくても、多くの線を一括して計測できるシステムである。

スキャナから送られたデジタルデータ（輝度値）を濃度値に変換しプロットすると、図14のような波状形状となる。この図の山頂がDmaxに当たり、谷底がDminに当たる。これらDmaxとDminの各々のペアからCTFを求めることができる。

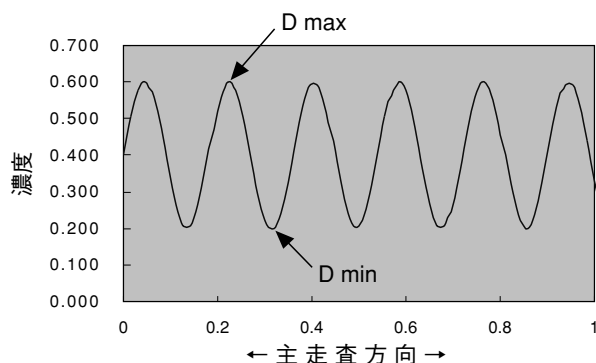


図14 線群の濃度

### ピッチバリエーション

印刷品質の問題の一つに、図15のように細かな周期のすじや帯が現れるという問題がある。これをピッチバリエーションという。

印刷機構の駆動系の部品（例えばモータ、ギヤ、ローラ等）が原因であることが多い。本現象が発生した場合、駆動系のどこに問題があるか解析する必要がある。

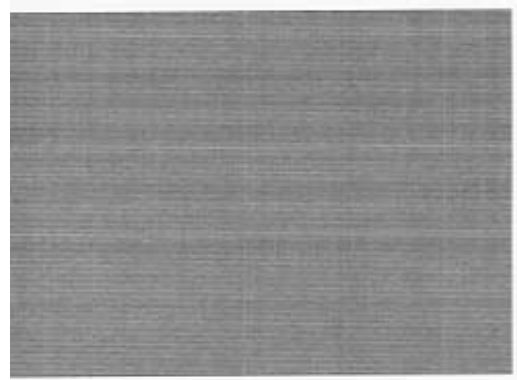


図15 ピッチバリエーションサンプル

この画像評価システムはピッチバリエーションが発生したプリントサンプルを読み取り、フーリエ変換を用いて測定データを解析し、現象の発生原因を解析することもできる。

ここで、フーリエ変換とは、信号処理の分野でよく使われているものであるが<sup>2)</sup>、信号の周波数特性を調べる際に用いられる計算方法である。信号のサンプリングデータに対して、級数計算を行うことによって、スペクトル図が作成され、この図から現象の周波数特性を調べることができる。

この画像評価システムではスキャナによって生成されたデジタルデータをサンプリングデータとし、このデータをフーリエ変換することにより、画像に発生している周期的現象を周波数特性から解析する。

図16は85μmピッチでドットが形成され、かつ、ピッチバリエーションが発生したプリントサンプルをこの画像評価システムで処理し、作成したスペクトル図である。

グラフ中では、周期85μmにおいて突出した部分が見られる。この突出した部分を一般にパワースペクトルと呼ぶ。周期85μmにおけるパワースペクトルはプリントサンプルのドットピッチを示している。理想的にはドットピッチを示すパワースペクトルのみが現れていれば問題はないのであるが、それ以外に周期0.37mmでパワースペクトルが見られ、これがピッチバリエーションを示している。このことから、周期0.37mm特性を持つ、駆動系の部品（ギヤ、ローラ等）が印刷画像に何らかの影響を与え、ピッチバリエーションの原因となっていることがわかる。

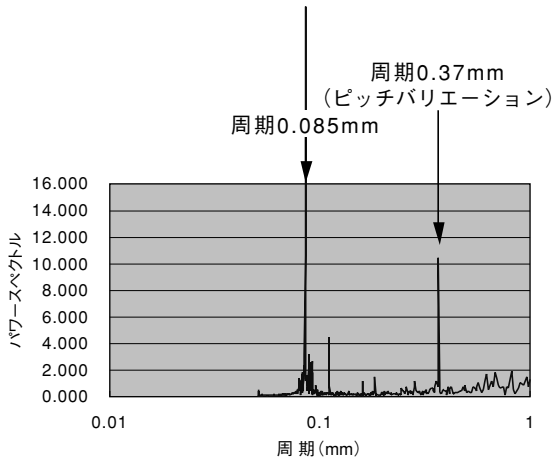


図16 スペクトル図

## おわりに

カラー画像評価システムにより、主だった画像評価項目は計測できるようになった。今後は、さらに評価項目を増やしていくとともに、心理要因による画質のよしあし（きれいーきたない、コントラストの良否、立体的ー平面的など）を本システムで計測した定量値で判定できるような画質総合評価システムへと進化させていく予定である。◆◆

## 参考文献

- 1) 電子写真学会編：電子写真技術の基礎と応用，コロナ社，p.704
- 2) 中村尚五：デジタルフーリエ変換，東京電機大学出版局，pp.2-7

## ● 筆者紹介

大瀧登：Noboru Otaki,株式会社沖データ アーキテクトグループ チームリーダー