

小規模から円滑に拡張できる 商品トレーサビリティシステム

Extendable Product Traceability System from Small Start

尾崎 哲 土井 裕介 若山 史郎

■ OZAKI Satoshi

■ DOI Yusuke

■ WAKAYAMA Shirou

商品トレーサビリティシステムを導入する際、小規模システムから始めて実績を積み円滑に拡張して大規模システムに成長させることが、コスト効率と導入の容易さの両面から効果的である。過去に行われたトレーサビリティシステムの実証実験システムは、一つのデータベース(DB)に集中アクセスするもので、大規模化には不向きであった。

東芝は、DBの分散とID(Identification)のハッシュ値を利用した、小規模から円滑に拡張できるトレーサビリティシステムの構築手法を提案し、これが機能することを試作により示した。今後、大規模な実験を通じて、規模の拡張に伴う定性的な挙動の解析を進める。

A cost-effective and easy way to introduce a product traceability system is to start from a small system and gradually extend it to large-scale systems. Traceability systems used in past field tests are not suitable for large-scale deployment because they use a single, centralized database.

This paper describes a gradually extendable traceability system proposed by Toshiba that employs distributed databases and ID-hash values. We have confirmed the proper operation of this system with a trial system, and plan to analyze its qualitative behavior in scale extension through large-scale experiments.

1 まえがき

食の安全に対する意識の高まりを受けて、野菜や肉がどのように作られ、加工され、運ばれて消費者の手もとに届いたか、ということを追跡できる商品トレーサビリティシステムの実用化を目指して、各地で実証実験が行われている。小規模な実験を行っているうちはシステムも小規模で済むが、徐々に規模は大きくなるものである。参加店舗や取扱品目が増えたり管理の粒度をより細かくしたりすると、システムを大規模化する必要が出てくる。しかし、稼働当初から大規模システムを準備するのは、コストが割高になるため導入が難しい。そこで、最初は小規模で始め、徐々に規模を增強できる、スケーラブルなシステム構成が重要になる。

東芝は、必要な規模や負荷に応じて柔軟に增強が可能なトレーサビリティシステムを構築できる手法を、計算機上のソフトウェアとして実装し、商品トレーサビリティシステムを構築し実際の動作を確認した。また、規模の大小や負荷の変動に応じた增強が容易である特性を持つことを考察した。

ここでは、既存の商品トレーサビリティシステムの構成を調べ、規模が増大するときにDBの分散が重要であることを述べるとともに、分散の過程で何が問題になるのかを明らかにする。そのうえで、当社の提案手法を説明し、その特性を考察する。

2 商品トレーサビリティ

2.1 商品トレーサビリティとその仕組み

商品トレーサビリティシステムとは、その商品がどのような経路で流通してきたか(トレースバック)、あるいはどのような経路で流通していったか(トレースフォワード)を知るためのシステムである。牛肉などの食品分野から家電製品のリコール対策まで、幅広い分野での利用が期待できる。

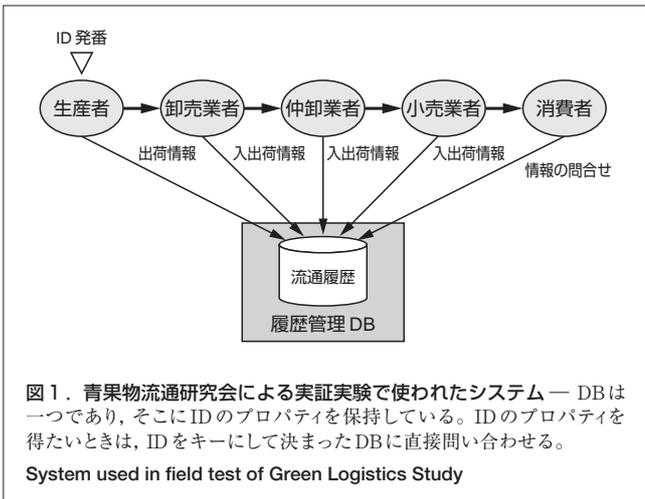
トレーサビリティを提供するためには、商品一つ一つを識別し、区別する必要がある。また、それぞれの商品ごとに商品情報を記録することが必要である。牛肉を例にとれば、消費者としては、牛の個体識別番号だけに限らず、食べさせた飼料や育成状況、流通・保管時の温度、加工方法など、様々な情報を得たいと考えるであろう。このためには現行のバーコードよりも情報量の多い記録手段が必要である。電子タグならばこれら多量の情報を保持可能だが、そのためには記憶容量の大きな電子タグが必要でコストがかかる。いくら安心を得るためとはいえ、500円の牛肉パックに500円の電子タグがつくことは受け入れられないであろう。

そこで、IDだけを商品と共に流通させ、IDに関する情報(以下、IDのプロパティと呼ぶ)はネットワーク上のDBに置くモデルが提案されている。これならば商品と共に保持すべき情報はIDだけで済む。IDは現行のバーコードには入りきれないものの、二次元(バー)コードや単機能の安価な電子

タグを使えば十分格納できる。

2.2 既存の商品トレーサビリティシステム

青果物流通研究会による実証実験⁽¹⁾で使われたシステムのように、既存の商品トレーサビリティシステムの多くはDBは一つであり、そこにすべてのIDのプロパティを保持している(図1)。IDのプロパティを得たいときは、IDをキーにして決まったDBに直接問い合わせる。



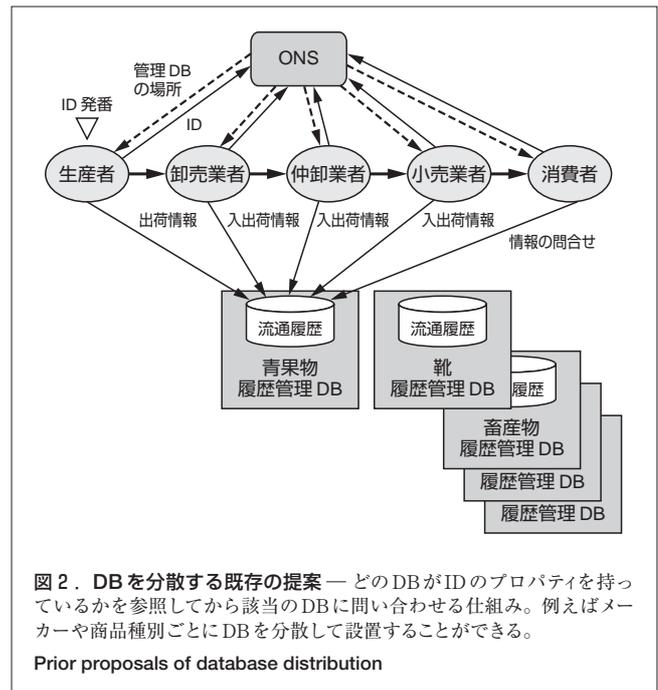
この方式では、管理運用は容易だが、単一のDBで数百の牧場、数万の小売店のすべての情報を保持することになり、高い処理能力が必要である。初めのうちは問題なく使えても、扱う物品の数が増えた場合、あるいは牛肉だけでなく野菜や家電などそのほかの分野でも使われるようになったときに、果たして対応できるであろうか。複数のハードウェアを論理的に一つのDBに見せかけるなどの解決手段は考えられるが、規模が増大するにつれコスト増大の度合いが増えると予測される。

2.3 DBを分散する既存の提案

EPCglobal⁽²⁾やユビキタスIDセンター⁽³⁾などの標準化団体による提案モデルは、どのDBがIDのプロパティを持っているかを参照(以下、この参照をID-DB解決と呼ぶ)してから該当のDBに問い合わせる仕組みを採用している(図2)。

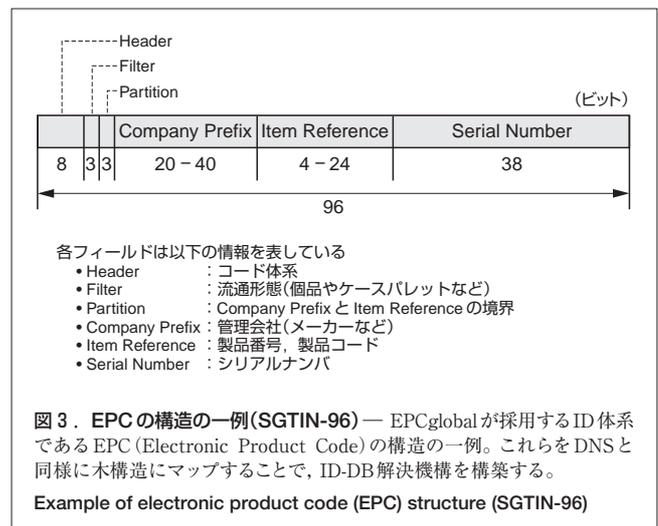
この方式は、ID-DB解決によってIDごとにDBを割り当てることができるため、例えばメーカーや商品種別によって異なるDBを割り当てることで、DBを分散して設置することができる。これはDBの規模を1台のパソコン(PC)で処理できる程度に抑えることにより、DB構築コストを下げられるというメリットを持っている。

一方、すべての問合せはID-DB解決を必要とするため、ID-DB解決のための機構(ONS(Object Name Service)^{(2),(4)}あるいはUID(Ubiquitous ID)解決サーバ⁽³⁾)に負荷がかかる。ONS Version 1.0では、DNS(Domain Name System)



と同様の仕組みを採用することにより多量のID-DB解決を分散処理することを想定している。これは、IDのコード体系が単なる通し番号ではなく、構造を持っていることを利用している。

図3は、EPCglobalが採用するID体系の一例として、SGTIN-96と呼ばれるコード体系の構造を示したものである。



Company Prefix部分及びItem Reference部分をDNSと同様に木構造にマップすることで、ID-DB解決機構を構築する。しかし、Serial Number部はほかの部分に比べて広大かつ構造を持たない空間であるため、DNSベースのID-DB解決機構では取扱いが困難である。

3 提案するトレーサビリティシステム

3.1 管理ドメインごとのDB管理

トレーサビリティを担う主体の最小単位を管理ドメインと呼ぶことにする。管理ドメイン内での製品への作用（環境、加工、変化など）と管理ドメイン間の製品の移動をIDのプロパティとして記録し、閲覧することをトレーサビリティシステムの目的とする。例えば牛肉トレーサビリティシステムであれば、牧場、加工場、保管倉庫、配送業者、小売店、そして消費者などが管理ドメインになりうる。

IDのプロパティを格納するDBを管理ドメインごとに持たせると、みずからが管轄する商品データのみを管理するDB内で閉じるので、秘密保持など管理運営上望ましい。公開する情報のほかに、管理ドメイン内で企業秘密として管理したい情報もIDのプロパティに併せて持たせ、DB上でアクセス管理すれば、トレーサビリティを提供するだけでなく物流や生産管理も同時に行え、つごうがよい。

これを実現するには、二つの解決すべき課題がある。一つは、すべての品目のID-DB解決をシリアル番号まで含めて解決する、という量的な課題である。この課題を解決するには、既存のDNSベースとは異なるID-DB解決機構の構築が必要になる。当社はDHT (Distributed Hash Table)と呼ばれる分散DB構築アルゴリズムをベースとしたID-DB解決機構の構築手法を提案し、この課題の解決を試みた。

もう一つの課題は、管理ドメインごとに分散して蓄えられているIDのプロパティをいかに連携させるかという課題である。当社はウェブログと呼ばれるシステムが用いるTrackBackという仕組みに似た双方向リンク作成手法（ここでは

TraceBackと呼ぶ)を提案し、この課題の解決を試みた。

3.2 DHTをベースにしたID-DB解決機構の構築

DHTとは、ある種のDB(テーブルの生成と参照)をネットワークで接続された複数の計算機によって構築したもので、それぞれの計算機があるアルゴリズムに従って自律的に動作することで、全体負荷を分散しながらDBとしての働きをする。DHTは、その名のとおりデータや負荷の分散手法としてIDのハッシュ値を利用する。ハッシュ値化により構造を持たないシリアル番号などのIDを、うまく分散して取り扱える。DHTを実現するアルゴリズムとしては様々なものが提案されているが、例えばChord⁽⁵⁾やSkipNet⁽⁶⁾などが挙げられる。

一方、アプリケーションから見たID-DB解決機構のインタフェースは、その成り立ちからDNSのインタフェースがそのまま流用されている。アプリケーションの構築を容易にするためには、インタフェースの変更は望ましくない。DHTをベースとしたID-DB解決機構を構築する際には、DNSのインタフェースとDHTの間をうまく接続することが望まれる。単純にプロトコル変換ゲートウェイを置く仕組みでは、そこが性能のボトルネックとなる(図4)。

当社は、DNSの仕組みと挙動をうまく利用したDNS-DHTマウンタと呼ぶ仕組みを提案し⁽⁷⁾、性能の劣化を最小限に抑えつつDHTにDNSベースのインタフェースを持たせた。

3.3 TraceBackを用いたDB間連携の仕組み

ウェブログと呼ばれるウェブ上のドキュメントには、相互に興味を持ってこれをリンクして関連ドキュメントを記述する仕組みがある。この相互リンクを張りたい旨をリクエストし自動的にリンクを張る手法を一般にTrackBackと呼ぶ。リクエストはTrackBackPingと呼ばれるメッセージを元のウェブ

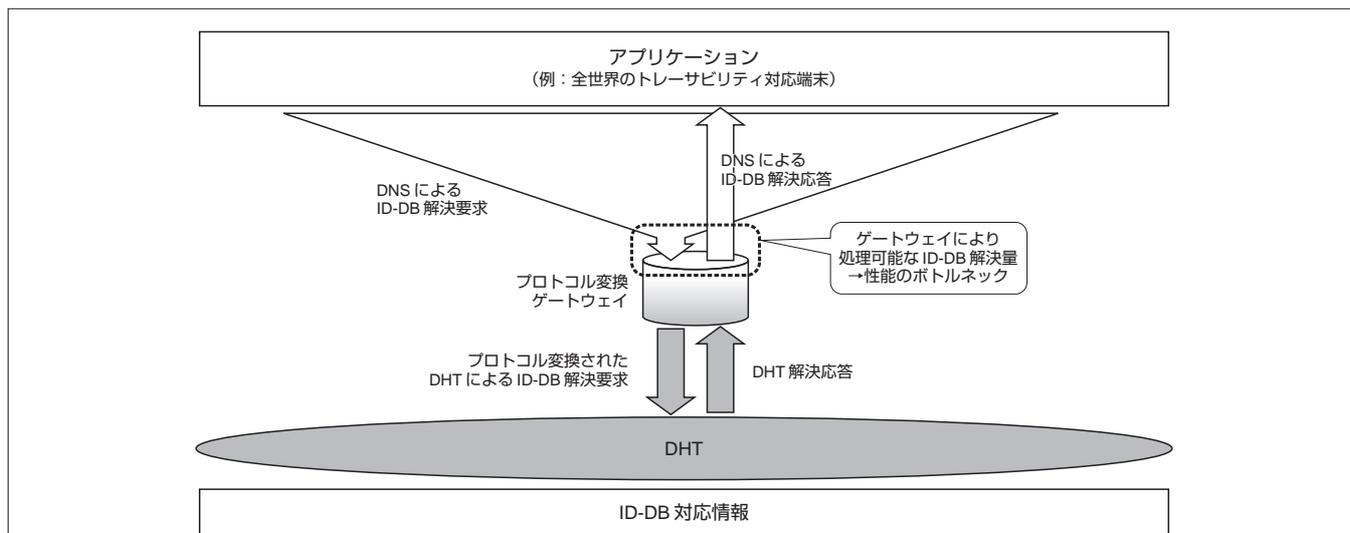


図4. ボトルネックになるDNS-DHTプロトコル変換ゲートウェイ — DNSとDHTのプロトコル変換ゲートウェイを置くような単純な仕組みでは、そこが性能のボトルネックになる。

Domain Name System-Distributed Hash Table (DNS-DHT) protocol conversion gateway as bottleneck

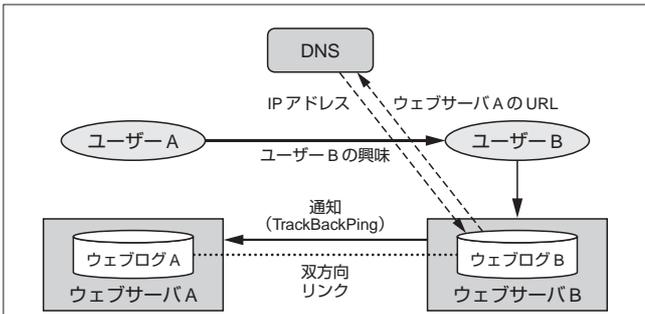


図5. ウェブログにおけるTrackBackの仕組み — リクエストはTrackBackPingと呼ばれるメッセージを元のウェブサイトへ送信することで実現され、これを受信したサイトには自動的にリクエスト元へリンクする記述が付け加わる。

Mechanism of TrackBack for weblogs

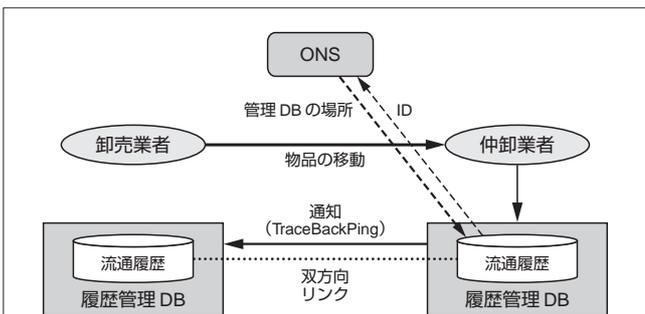


図6. トレーサビリティシステムにおけるTraceBackの仕組み — 入出荷情報を商品IDに追加してリンクを生成する。TraceBackPingメッセージを送って相手先管理ドメインからリンクを生成してもらう。

Mechanism of TraceBack for traceability systems

サイトに送信することで実現され、これを受信したサイトには自動的にリクエスト元へリンクする記述が付け加わる(図5)。

当社は、管理ドメインごとにDBを持つ商品トレーサビリティシステムにおいて、商品をやりとりする管理ドメインどうしを連携させるためにTrackBackと似た仕組みのTraceBackを考案した。TraceBackの仕組みを図6に示す。

管理ドメインにおいて商品が“入荷”あるいは“出荷”されるたびに、その管理ドメインのDBに“どこから入荷したか”あるいは“どこに出荷したか”という情報(これをリンクと呼ぶ)をIDのプロパティに追加する。同時に相手先の管理ドメインに向けてメッセージ(TraceBackPing)を送ることで通知を行い、相手DBが持つIDのプロパティにリンクを追加してもらう。その結果、管理ドメインどうしで双方向リンクが生成される。利用者はこのリンクをたどることで管理ドメインを越えた商品の追跡が可能となる。このように構築された商品トレーサビリティシステムをLoTR(Linked Object TRaceability system)⁽⁸⁾と呼ぶ。

3.4 実装

DHTをベースにしたID-DB解決機構とTraceBackを用

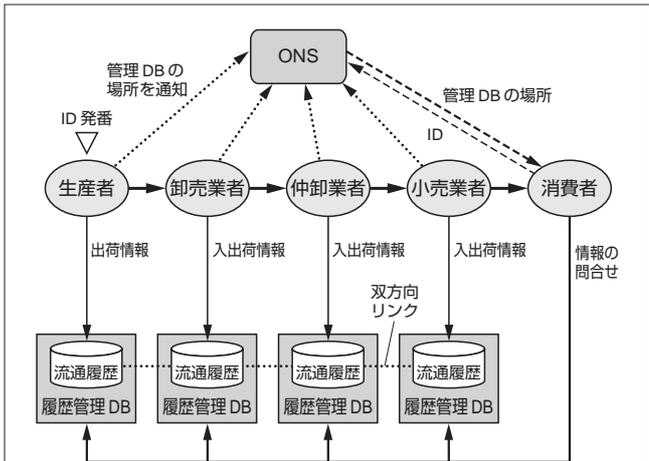


図7. TraceBackとDHTを用いてDBを分散する提案方式 — 各商品IDに、DHTを利用することで対応するデータベースを対応付けられる。商品IDに対応するメーカーや商品種別だけでなく、流通の各業者ごとのデータベースの連携を行える。

Proposed method of database distribution using TraceBack and DHT



図8. 提案手法の試験実装(ユーザーインターフェース) — 商品IDを読み込ませた後、手入力で商品IDのプロパティを入力する。リンク情報はTraceBack手法により次の管理ドメインへ移動した際に自動的に生成される。

Trial implementation of proposed system (user interface)

いたDB間連携の組合せにより、IDのプロパティを格納するDBを管理ドメインごとに持ったトレーサビリティシステムを構築できる。

提案手法が実際に機能することを検証するため、商品トレーサビリティシステムを実装した。DHTを実現するアルゴリズムにはChordを採用した。また、DHTの動作状況を可視化するツールも別途実装した。ユーザーインターフェースとしてPHPによるウェブアプリケーションを構築した。商品に付ける商品IDとその読取りにはISO(国際標準化機構)14443 Type C対応のRFID(Radio Frequency Identification)及びRFIDリーダを用いた。

実験の結果、システムは設計どおり動作し、提案手法が実現可能であることが検証できた。システムの構成を図7に、実際にシステムを動作させた際のスクリーンショットを図8に示す。

4 考察

ここで、提案方式の利点、欠点について検討する。

まず、ID-DB解決をDHTベースで構築する利点は、次のとおりである。

- (1) 小規模(1台)から始め、負荷の増加に合わせて漸進的に増強できる
 - (2) 逆に、負荷の減少に合わせてシステムを縮小できる
 - (3) 負荷の偏りが少なく必要なノード(計算機)数が少ない
 - (4) ノードとデータの対応付けが自動的に行える
- 一方、欠点は次のとおりである。

- (1) IDの一部を特別扱いするような処理が面倒
- (2) IDが連続しても取扱い効率が上がらない

これらはIDをハッシュして取り扱うことに由来するため、提案方式を用いる限り解消は難しい。一方、(個々の品目を個別に扱う)トレーサビリティシステムにおいては大きな問題とはならないと考える。

次に、LoTRの仕組みの利点は次のとおりである。

- (1) 管理ドメインの大きさが全体規模に依存しない
- (2) 小さい範囲(店舗内物品管理など)から始めて徐々に範囲を拡大できる

一方、欠点としては、DBが分散しているためIDのプロパティをすべて得るには何度か問合せを行う必要がある、といったことが挙げられる。

提案方式が持つこの二つの仕組みの性質から、提案方式は小規模から始めて円滑に拡張・増強できる特性を持つと考えられる。定量的な評価は、数値解析や多数のノードを用いた実験によって検証していく必要がある。

5 あとがき

電子タグは二次元コードなども併用されながら、サプライチェーンマネジメント(SCM)の分野から普及が進むものとみられる。SCMをきっかけにモノにIDが付くようになると、商品トレーサビリティへの応用にも弾みがつくと期待できる。この研究は、商品トレーサビリティシステムを低コストで構築・導入し、ベネフィットに応じて円滑に増強できる手法の提案であり、この手法の効果が実証できれば、電子タグ普及への大きな助けになると考える。

今後、DHTベースとDNSベースのID-DB解決機構がエンタリ数の大きさや負荷の大きさに対してどのような応答特性を持つかを、大規模実験設備StarBed⁽⁹⁾での実験によって評価するなど、定量的な解析を進めていく。

なお、この研究の一部は、総務省による平成16年度「電子タグ高度利活用技術に関する研究開発」事業に係る委託研究の成果によるものである。

文献

- (1) 平成15年度農林水産省補助事業「平成15年度トレーサビリティシステム開発・実証試験」仲卸業者ネットワーク「青果物流通研究所(GLS)」における流通履歴情報の共有システム構築と運用実験。
- (2) EPCglobal. < <http://www.epcglobalinc.org/>>, (参照 2005-5-9).
- (3) Ubiquitous ID center. < <http://www.uidcenter.org/>>, (参照 2005-5-9).
- (4) Michael Mealling. Auto-id Object Name Service (ONS) 1.0. Auto-ID Center Working Draft, August 2003.
- (5) Stoica, I. et al. Chord: A Scalable Peer-To-Peer Lookup Service for Internet Applications. In Proc. ACM SIGCOMM, 2001, p.149-160.
- (6) Harvey, N. et al. Skipnet: A scalable overlay network with practical locality properties. In Proceedings of the 4th USENIX Symposium on Internet Technologies and Systems, 2003. < <http://www.usenix.org/events/usits03/tech/harvey.html>>, (参照 2005-5-9).
- (7) Yusuke DOI. DNS meets DHT: Treating Massive ID Resolution Using DNS Over DHT. In Proceedings of The 2005 International Symposium on Applications and the Internet (SAINT 2005), p.9-15.
- (8) 若山史郎, ほか. "TrackBack手法に基づくトレーサビリティシステムの設計と実装". 電子情報通信学会. NS/IN技術研究報告会, 2005-03, p.379-382.
- (9) 宮地利幸, ほか. StarBEDにおける自動実験実行機構. 日本ソフトウェア科学会. 第6回インターネットテクノロジーワークショップ, (編集中).



尾崎 哲 OZAKI Satoshi, D.Eng.

研究開発センター 通信プラットフォームラボラトリー 研究主務, 工博。ユビキタスネットワークング関連の研究に従事。IEEE, 電子情報通信学会会員。Communication Platform Lab.



土井 裕介 DOI Yusuke

研究開発センター 通信プラットフォームラボラトリー。分散ハッシュテーブル技術を中心とした分散処理技術関連の研究に従事。ACM, IEEE-CS, 情報処理学会, 電子情報通信学会会員。Communication Platform Lab.



若山 史郎 WAKAYAMA Shirou

研究開発センター 通信プラットフォームラボラトリー。RFID応用技術, ユビキタスネットワークング関連の研究に従事。Communication Platform Lab.