

EPC の歴史

2005 年 7 月 20 日

By: ジョン・ウェール

category: 非接触, 金融, 図書館, rfid

以下は、「RFID: Applications, Security, and Privacy」の抜粋である。この章は、EPC のパイオニアである Sanjay Sarma<sup>1</sup> によって書かれています。

RFID の概念は新しいものではありませんが、RFID という言葉が使われるようになったのは、ほんの数十年前のことです<sup>2</sup>。第二次世界大戦中に RFID が使われ始めた 1980 年代から 1990 年代にかけて、RF 回路の技術革新により、パッシブ RFID タグ（電池なしで、読み取り側のフィールドから電力を回収するタグ）が十分に使用できる範囲を確保できるようになりました。現在、RFID タグは、通行券、カードキー、自動車の鍵、決済システム (Mobil Speedpass システムなど)、動物の識別など、あらゆるところに使われています。

EPC は、基本的な RFID をサプライチェーンにおける物品の追跡のための標準化されたスキームに織り込んだ一連の標準と技術である。EPC は、MIT の DISC (Distributed Intelligent Systems Center) という研究プロジェクトに参加した数人の研究者によって作られました。その後、この研究活動は、小売業のサプライチェーンで高まるニーズを満たすために変化し、Auto-ID Center となった。この章では、Auto-ID Center の簡単な歴史を紹介し、主に技術、業界、EPC システムの採用についてお話しします。

私が初めて RFID に触れたのは、1990 年代初頭、バークレー校の大学院生だった頃のことです、忘れもしない。当時、私は製造自動化のためのワークピースの識別と位置特定に興味を持っていました。オートメーションにおける位置決めデバイスとして RFID を検討したことがありましたが、あまりに不正確で高価なため却下しました。しかし、その時は、私たちの道が再び交わることになるとは思いませんでした。

分散型インテリジェントシステムセンター

MIT の同僚であるデビッド・ブロックが RFID を再び紹介してくれた。人工知能 (AI) 研究所で、デビッドはロボット工学における人工知覚の問題について考えることに多くの時間を費やしていました。彼は AI ラボで白書を書き、なぜ RFID タグをゼロから物体を認

識するのではなく、物体を識別するためのマーカーとして使えないのかと考えました。彼は、物体を識別するためにユニークな番号を使い、ネットワークを利用して物体に関するほとんど無制限の情報をダウンロードすることを提案した。

1998年の初めのある日、デビッドは私のオフィスに突撃し、このアイデアを私に説明した。ロボット工学の専門家である私にとっては、とても魅力的なアイデアだった。しかし、私が以前から抱いていた不安は消えなかった。ユビキタスを実現するには、コストがネックになる。しかし、私は十分に興味をそそられ、デビッドを私のグループに誘い、DISCを設立したのです。

デビッドが私に吹き込んだのは、RFIDのユビキタス化、つまりあらゆる場所に設置しようというアイデアだった。サプライチェーンに使ったり、ロボットや機械に使ってコンピュータビジョンの代わりにしたり、食べ物や薬、家畜の追跡に使ったりすることができる。しかし、これらすべての用途において、タグの高コストが大きな障害となりました。コスト高が悪循環を引き起こす。コストが高ければ普及率が低くなり、普及率が低ければコストが高くなる。それから数カ月間、私たちは何度も集まってこのアイデアについて話し合い、もう一人の同僚、サニー・シウにも協力してもらい、ブレインストーミングを行いました。私たちは、1990年代前半にMITのメディアラボやニック・ネグラポンテで行われていた同様の考え方を意識するようになりました。

種明かしをすると、番号付けのアイデアでした。時間をかけて番号の構造を決め、それをEPCと名付けました。EPCは4つのフィールドを持つことになります。

バージョン番号

メーカー番号

製品番号

シリアルナンバー

EPCはデータベースを指し示すものであった。そこで、オブジェクトに関するデータを表現するために、XMLを使うことにしました。私たちは、この言語をPML (Physical Markup Language)と呼んでいました。当時、ダン・エンゲルスは電気工学・コンピュータサイエンス学科で博士号を取得中でした。デビッド、ダン、私は、物理オブジェクトを記述し情報を配布するための多くのアプローチを検討し、リソース記述フレームワーク (RDF) や情報コンテンツ交換 (ICE) など、多くの新しい表現とスキームを含む多くの時間を費やしました。

しかし、EPCとデータベースのIPアドレスをどのように対応させるかが課題でした。私たちのブレインストーミングでは、学生のエリック・ニグレンが、ドメインネームシステム

(DNS) の単純な共同利用を提案しました。この新しいシステムを「ONS (Object Name System)」と名付け、別の学生であるジョー・フォーリーが最初のプロトタイプを実装しました。そして、古い電子レンジの制御をハッキングして、RFID リーダーを取り付けました。そして、電子レンジで調理した数種類の食事に RFID タグを取り付けました。ジョーと私は、PML (Physical Markup Language) という形式で調理方法を説明するウェブページを作成しました。電子レンジに食品を入れると、タグを読み取り、ONS でサーバーを探し、PML の調理指示をダウンロードし、自動的に調理を行うという仕組みです。これが、私たちの最初の、そして最も永続的なデモンストレーションである。これを見たマサチューセッツ工科大学機械工学科のナム・スー教授が、学科から 10 万ドルを寄付してくれて、この駆け出しの取り組みを支援してくれた。これによって、私たちは、この取り組みを発展させるための余裕を得ることができた。

1999 年初頭、私は RFID 業界を悪循環から脱却させるためには、ミニマリズムを注入することが必要だと考えました。これが、「Auto-ID センター」を前進させる重要なテーマとなった。チップを極端に小さくする、プロトコルを極端にシンプルにする、既存の規格をベースにしたシンプルなネットワークのアイデアを開発する、極小チップの新しいパッケージ方法を開発する、チップ上のデータ規格をミニマルにする、などなど、いずれは低価格のタグを開発することになるでしょう。このミニマリズムというテーマは、予想以上に売るのが難しいビジョンだった。しかし、それが EPC のネットワーク構築につながったのです。

一方、プロクター&ギャンブル社では

1999 年初頭、デイブと私は、当時ロンドンのプロクター・アンド・ギャンブル社でオイル・オブ・オレイのブランド・マネージャーを務めていたケビン・アシュトンと出会い、運命的な出会いがなければ、EPC 革命は始まらなかつただろう。ケヴィンに会う前、私は、ユビキタス RFID タグは、まず工場やオートメーションシステムからなるサプライチェーンのフロントエンドに応用されるだろうと予想していた。しかし、それは間違いでした。ケヴィンは数年前から、小売業を悩ませる「品切れ」という問題に頭を悩ませていた。一般的な小売店では、売れ筋の商品が 10% 程度の確率で品切れになっていることが判明しています。この問題は、何十億ドルという収益の損失を意味するばかりか、不満を抱いた顧客がブランドや店舗を変えてしまう可能性もある。すべての商品にタグを付け、すべての棚にリーダーを設置し、小売業者とメーカーに在庫切れや欠品を積極的に知らせるシステムです。ケヴィンは、昨年から RFID 業界に対して、低価格のタグに興味を持ってもらうよう働きかけていた。しかし、ケヴィンは、RFID ベンダーから支援を受けるところか、私やデビッドと同じように、自分のやり方がうまくいかない理由を聞かされるばかりだった。1999 年に初めて会ったとき、私たちはビジョンに共鳴するものを感じた。小売業のサプライチェーンにおけ

る RFID の可能性に対するケビンの情熱は、私たちに新しいアプリケーション分野をもたらしたのです。オート ID センターは、2つの独立した流れの合流点だったのです。DISC テクノロジーと、プロクター&ギャンブル社やジレット社の小売業との闘いです。

#### ミニレクチャー サプライチェーン

EPC の成長を理解するためには、サプライチェーンの問題点を理解することが重要である。拡張サプライチェーンは、鉱山や農場から始まり、リサイクル工場かゴミ箱のどちらかで終わります。その間に、材料は段階から段階へと運ばれ、組み合わせたり分離したり、加工したり、所有者から別の所有者へと手を変え品を変えしていきます。素材が下流に向かうとき、お金は上流に向かい、それぞれの主体は進化する作品に付加価値を与えることで利益を得るのです。

通常、ロジスティクスという用語は、材料の取り扱いと、輸送のためのバルクへの集約と脱凝集を指す。サプライチェーン（拡張サプライチェーンとは異なる）という用語は、通常、工場から消費者の手元に届くまでの連鎖における材料の管理を意味する。小売業は、インターネットにおけるルーターに類似しています。小売業者は、サプライヤーから店舗にいる顧客まで、できる限り効率的に材料をルーティングします。その効率性によって、顧客にとってのコスト、小売業者の収益性、そしてサプライヤーの売上が決定される。

チェーンの各段階において、不確実性、損失、見積もりミスが非効率の原因となる。在庫が多すぎると、何十億ドルもの資金が滞留し、運送費がかさみ、陳腐化し、品質や鮮度に問題が生じ、盗難に遭うため、良くない。在庫が少なすぎると、店の棚が空っぽになり、世界中の小売業が何十億ドルも悩まされる問題です。残念ながら、在庫を数えることが困難なため、在庫が多すぎる場合と少なすぎる場合の間で振り子が急激に揺れる「ブルウィップ効果」と呼ばれる現象が起きています。初期のコンピュータの主要部品を発明した MIT のフォレスト教授が初めて説明したこのブルウィップ効果は、サプライチェーンのようなダイナミックチェーンでは避けられない現象です。簡単に言えば、チェーンの末端での需要がほぼ一定であっても、小さな波紋が上流で増殖し、需要に大きな変動が生じるということです。

この 2 つの問題の綱渡りをする秘訣は、在庫を正確に計測することです。バーコードは在庫を測定する方法として考案され、かなりの程度、役に立ちました。しかし、バーコードの操作は基本的にラインオブサイトであり、手作業が必要です。その結果、バーコードをスキャンするたびにコストがかかり、実際、UPC バーコードのスキャンはレジで一度しか行われなことが多い。実際、UPC バーコードのスキャンは、会計時に一度だけ行われることがほとんどです。ハーバード大学のグループがある小売業者を対象に行った調査では、在庫

記録のうち最大 65%が不正確だったそうです。そこで、RFID タグの出番です。RFID タグを使用することで、視線を通さずに在庫を数えることができます。このタグは、より良く、より早く、より安く、より頻繁に在庫を測定することを可能にします。この計測によって、より効率的な商品交換、商品のトレーサビリティ、盗難やその他の不正行為からの保護、そして最も重要なのは、サプライチェーンの 2 つの問題である過剰在庫と過小在庫をより安定して綱渡りすることが可能になります。これらのメリットは、企業にとっても社会にとっても、何十億ドルもの価値があるのです。

RFID の研究が始まったとき、私はこのことを確かめたいと思いました。在庫切れの問題はすでに紹介されていた。あれは氷山の一角だったのだろうか。2000 年、私の教え子である Yogesh Joshi と私は、ブルウィップ効果、そしてこの衰弱した現象に対する在庫の可視化の効果について研究しました<sup>3</sup>。RFID を利用してサプライチェーン上の取引先に在庫を可視化することで、少なくとも理論的には、ブルウィップ効果をほぼ完全に排除することができるのです。この深い洞察を得て、私たちは、ユビキタスで安価な RFID タグ付けというつかみどころのない目標を求めて、RFID の世界に飛び込んでいきました。そこに価値があると思ったからです。

#### オート ID センター

1999 年、デビッドとサニー、そして私は、"バーコードの父"と呼ばれるアラン・ハバーマンと出会いました。アランは、バーコード技術を導入し、現在のような小売商業のユビキタスで標準化されたシンボルとした、最初の CEO 委員会のメンバーでした。その過程で、米国で UPC バーコードを管理する Uniform Code Council (UCC) を設立しました。その姉妹組織である EAN インターナショナルは、世界各国のバーコードを管理しています。

1970 年代、MIT のハワード・ジョンソン会長は、シンボル選定委員会のバーコードの選定を評価するために、若い教授たちからなる分野横断的なグループを結成しました。そして、それが現実になったのです。

当時 UCC 理事会 (BoG) のメンバーだったアランは、バーコード ID 技術の後継技術として適切な研究機関を探している最中だった。皮肉なことに、UCC の現 CEO であるトム・リッテンハウスと総務委員会に代わって、初めてバーコードがレジでスキャンされてから 25 年が経とうとしていた。その間にバーコードはユビキタス化し、現在では世界中で毎日 50 億枚以上のバーコードがスキャンされているとのことです (関係者の推定)。

アランは、RFID の規格に関する ISO 委員会の委員長でもあり、低コストでユビキタスな

RFID タグを実現するための研究活動を始めることに興味を示してくれました。彼もまた、私たちと同じように、RFID タグの高コストと技術的進歩のなさに不満を抱いていた。1 時間のランチの間に、私たちのグループは合意しました。DISC は、UCC からの資金援助を受けて、MIT を拠点とする新しいセンターとして生まれ変わります」。アラン、デビッド・ブロック、サニー・シウ、そして私の 4 人は、MIT のスタッフと何度も話をした。その中で、フリッツ・コケシュとキャロル・カーという 2 人のスタッフが、新センターの財政的・組織的な仕組みを構築する上で大きな役割を果たした。このセンターは、ベンダーではなくエンドユーザーによって運営され、サプライチェーンにおける低価格のパッシブ RFID タグの普及を使命とする。あとは、お金だけです。そこで、プロクター・アンド・ギャンブル社とジレット社を最初のターゲットとして、多くの企業に働きかけを行いました。

1999 年 9 月 30 日、ワシントン D.C. のスミソニアン博物館で開催されたバーコード誕生 25 周年記念式典で、Auto-ID センターは発足しました。ジレットとプロクター・アンド・ギャンブルです。P&G の CIO であるスティーブ・デビッド氏、ジレットのアラン・ボース氏、UCC のトム・リッテンハウス氏が、ナム・ス教授に小切手を贈呈した。研究所の組織は、徐々に整っていった。アラン・ハバーマンがエンドユーザー・スポンサーの理事長になるのである。(約 1 年後、アランは会長を退き、ジレットのディック・キャントウェルが後を継いだ。ディックは、今後数年間、非常に重要な役割を果たすことになる)。サニー・シウが研究所の所長になったのは、この取り組みにおいてインターネットの重要性を強調することが非常に重要だったからです。(サニーは 2001 年に MIT を去り、私がリサーチ・ディレクターを引き継ぎました。センターが大きくなるにつれ、1 年後には研究所の会長になりました)。ケビン・アシュトンがエグゼクティブ・ディレクターとなり、ラボを運営することになりました。P&G は、ケヴィンの給与を負担することを快く申し出てくれました。ケヴィンと私は、困難な、時には敵対的な状況を切り抜けながら、緊密に連携してこの活動を支えていくこととなります。アランとディックには、技術的・産業的な障壁を克服するために、多大なサポートをいただいた。

最初に取り組んだのは、安価な RFID タグの実現でした。当時、タグは 1 ドル以上したし、私たちの主張はすでに嘲笑されていた。RFID 業界全体が、高収益・低容量のサイクルに陥っていたのです。私たちの目的は、そのサイクルを断ち切ることでした。モトローラ傘下のインダラ社のノエル・エバーハルトを除いては、誰も低価格のタグが可能だとは思っていませんでした。ノエルは、静電タグ「ビスタティクス」を発明していた。ビスタティクスは、安価なアンテナを使い、チップも非常に小さい。ノエルは、5 セント硬貨程度で製造できると考えていた。

安価なタグ

ノエルと出会ってから数カ月で、ビスタティックスのタグではサプライチェーンの要件を満たすのに必要な読み取り範囲が得られないことが明らかになったのです。しかし、ノエルは私たちに一縷の望みを託してくれた。当時は、ポリマー回路を使った非シリコンタグや、MIT メディアラボのリッチ・フレッチャーとニール・ガーシェンフェルドが開発したチップレス RFID 技術など、魅力的な可能性もあった。ノエルとの出会いから半年間、私は RFID タグの製造に関する徹底的な分析に没頭した。チップ上の回路、デジタル部分とアナログ部分の製造上の問題、チップとウェハの分離、ウェハの薄型化、ダイの扱い、ダイとアンテナの取り付け、アンテナの製造、そしてアセンブリのパッケージへの取り付けなどを調べました。カナダで行われた 2 日間の製紙講習にも参加しましたよ。私の結論は、Bistatix、ポリマータグ、チップレスタグは、当面、RFID の問題を解決することはできないだろう、というものでした。それよりも、シリコン製の電磁タグに立ち返り、それを機能させる方法を探したほうがいいのではないかと思ったのです。私は、この課題に取り組むために、2 つの戦略を立てました。

まず、タグのコストで最も厳しいのはチップのコストであり、チップの面積に大きく比例することを認識しました。そのため、チップに搭載するステートマシンとメモリの複雑さを最小限に抑えることに、多大な労力を費やす必要がありました。例えば、初期の RFID タグは、複雑な衝突防止技術や大規模で複雑なメモリ構造、暗号化技術などを採用していました。これに対し、私たちはタグのメモリをシンプルなナンバープレートにすることにこだわり、衝突防止をよりシンプルなツリーウォークやアロハのようなバリエーションに簡略化しました。最もシンプルなタグから暗号化を排除したのは、守るべきメモリがなかったからです。その際、デジタル信号処理から半導体製造の問題まで、さまざまな問題に対処する必要がありました。このミニマルアプローチは、チップのサイズを小さくすることに成功し、コストはサイズにほぼ比例するため、コストダウンが可能になりました。さらに、チップの小型化には、EPC を推進するメリットもあった。チップを小さくすることで消費電力が減り、タグの使用可能距離が長くなる。また、ミニマムなアプローチにより、より簡単で低レベルの規格が可能になり、より多くのアプリケーションで使用できるようになりました。

第二に、私たちは DISC の初期の研究を、低コストのタグのために有利になるように変更しました。DISC では、これまで RFID タグ自体にあったタグ付きアイテムに関連するデータやインテリジェンスの多くを、代わりにネットワークに置くことを提案していました。車のナンバープレートからその車に関連する交通違反のチケットを探すのと同じように、EPC を使えば、タグに余分なメモリーを持たせることなく、そのタグに関連するデータを参照することができるようになる。ONS は、EPC タグに関連するオリジナルデータの権威ある所有者を探すために使用される。PML は、PML サーバーと呼ばれるサーバーにタグのデータ

を保存する。

誰がプロトコルを設計するのか？

小型チップはどのようにパッケージングされるのか？

誰がこのチップを作るのか？

タグは誰が作るのか？

どうやって普及させるのか？

しかし、スポンサーは私たちに信頼を寄せてくれていましたし、賽は投げられました。もし、この戦略がうまくいかなければ、私たちは倒産してしまうだろう。私のキャリアも危うくなるところだった。ここから先は、戦略を具体化し、広く普及させることがミッションとなった。

「低コスト」な RFID プロトコル

2000 年になると、リーダとタグの間の通信に使われる RF プロトコルが、やや肥大化していることが分かってきました。この肥大化は、私たちがチップを小型化することを流行らせるまで、そのインセンティブがなかったことが一因です。また、ネットワークを活用したり、チップの設計や通信理論における最近の進歩を利用しようとする人もいませんでした。2000 年、サニー・シウと彼の学生チン・ロウは、タグのフィールドを高速かつ効率的にインベントリ化できる、一連の超シンプルなツリーウォーキングプロトコルを説明する論文を発表しました。このプロトコルは非常にシンプルで効率的だったので、私たちはなぜこれが使われていないのか不思議に思っていました。後に、同じようなことを考えている人がいることを知ることになる。しかし、大手タグメーカーにこれらのアプローチを採用するよう説得することは、まったくできませんでした。Auto-ID センターに参加するタグメーカーも何社かありましたが、会議に参加した技術者は興味を持ったものの、自社を説得することはできませんでした。

2000 年末、私はカリフォルニアの新興企業エイリアン・テクノロジーのジェフ・ジェイコブセンとロジャー・スチュワートと出会った。ジェフとロジャーは、私たちと同じ結論に達し、私たちの言っていることの価値をすぐに理解しました。そして、ミニマムなアプローチで新しいプロトコルを開発することを約束し、実りある楽しいブレインストーミングが続いた。ロジャーは、同僚のエイリアン社のカート・カレンダー、ジョン・プライス、スティーブン・スミス博士、ジョン・ロリンズとともに、ダン・エンゲルス、MIT のマット・レイノルズ、そして私と長い時間をかけて、最終的にオート ID センターが発行する Class 1 UHF プロトコルを開発した。また、Rafsec 社のリー・ターナーなど、他社の人たちにも助けられました。エイリアン社は、このプロトコルのチップを作ることを約束し、今日ま



で製造を続けています。その後、ダン、オーストラリア・アデレードのピーター・コール教授、フィリップスの研究者が、Class 1 HF プロトコルを作成した。2002 年には、非常に効率的なツリーウォーキングプロトコルを独自に開発していた新興企業のマトリックス社が、センターと協力して、古いプロトコルをより安全で効率的にしたものを作り、Class0 UHF プロトコルとして発表しました。Matrics 社もこのプロトコルに対応したチップの製造を約束し、現在も販売を続けています。

タグのプロトコルを開発する際、私たちは同時に、国によって異なる様々な周波数と、読み取るべきプロトコルを考慮する必要がありました。どのプロトコルに対応したリーダーを買えばいいのか？どの周波数に対応すればいいのか？このような疑問は、アーリーアダプターにとって、驚くほど麻痺したものでした。私たちは、すべての周波数、すべてのプロトコルに対応すべきだという考えを持っていました。この問題を解決する最善の方法は、すべてのプロトコルと周波数に対応できるリーダーを 1 つ作ることでした。その頃、ハードウェア無線に代わるものとして、ソフトウェア定義無線が受け入れられ始めていました。CPU の高速化によって、究極の柔軟性であるこれを現実のものとし始めたのだ。ケ빈は、ThingMagic という MIT の小さなスピノフ企業のエンジニアと知り合いで、そのうちの一人が卒業したばかりのマット・レイノルズだった。私たちは ThingMagic 社と契約し、すべての不確実性を一掃できる「アジャイルリーダー」を 1 台作ることにしました。ThingMagic 社が発表したアジャイルリーダーのデザインは、部品代も 100 ドル以下でした。この一挙手一投足で、リーダーのハードウェアと周波数に関するすべての不確実性を静めることができたのです。これで、将来のプロトコル変更にも対応できる固定的なインフラに投資することが可能になった。

### 「ローコスト」なものづくり

私たちのアプローチで直面した課題のひとつがこれです。シリコンのコストを下げるためにチップを小さくすることはできますが、チップを小さくすると、ピックアップやハンドリングが非常に難しくなります。実際、チップが 1mm<sup>2</sup> 程度より小さくなると、静電気が非常に大きくなり、精度の要求も高くなるため、従来のロボットによるピック&プレースは不経済になる。つまり、シリコン代が浮いた分、高価な製造工程が増えることになる。このような製造上の課題は、2000 年 2 月に発表した戦略の大きな障害となりました。さらに、こんな疑問もあった。

1 枚のウェハーに 10 万個のチップをどうやってテストするのか？

ウェハからチップを切り離すための隙間（ストリート）で大量のシリコンを無駄にすることなく、ウェハ上でチップ同士をどのように切り離すか？

このチップをどうやってアンテナに取り付けるか？

2000年に入ってから、私たちはこれらの疑問に対して実現可能だと思われる答えを導き出しました。まず、「将来、小型チップはロボットではなく、大規模な並列組立によってパッケージングされるようになる」とした。当時、私は、チップを「振動で固定する」プロセスが将来的に主流になると考えていました。RFID タグは、無線でテストできるので、ウェハーの中でテストする必要はない、と。また、チップの分離は、ストリートを一桁薄くするためにのこぎりで切るのではなく、エッチングで薄くすることで可能であると述べました。私はこれらの考えをホワイトペーパーにまとめましたが、少し悲観的で、敵意さえもって受け止められました。一見、理にかなったアイデアだが、それをどうやって実現するのか。私たちがいたのは、やはり学術機関でした。

ここでも、エイリアン社のような優秀なパートナーに出会うことができた。エイリアン社は、私が提案した振動ではなく、流体でチップを搬送するプロセスを開発し、超小型チップを超並列で安価に RFID パッケージに組み立てることを可能にしました。また、「ボリュームがあれば低価格のタグが作れる」と主張する私たちを、最初にサポートしてくれたのもエイリアンでした。

また、ラフセック社のような企業も、このアプローチの定着に大きな役割を果たしました。ラフセックは、安価にアンテナを製造する技術を開発し、エイリアンとの関係を発表した。これで、完全なタグができる見込みが立った。その後、フィリップス社は、振動も有効な技術であるという私の考えを認め、フィリップス社自身が他の部品の組み立てに振動技術を使用していることを発見したと発表しました。私の教え子であるカシフ・カーンは、振動を利用した技術について博士号を取得し、2003年に出版しました。

#### ソフトウェアとネットワーク

ハードウェアの問題を扱うことは、EPC の挑戦の一面に過ぎません。もうひとつはソフトウェアです。私たちの目標は、タグからデータを取り出して、ネットワーク上でデータを操作することでした。先にも述べたように、ONS の最初のバージョンは、1990年代後半に私の教え子であるジョー・フォーリーによって書かれました。

その頃、RFID データをスケーラブルかつ合理的に扱うためのソフトウェア・アーキテクチャが必要であることが、私にも明らかになりました。RFID データは猛烈な勢いでやってるので、それを吸収し、フィルタリングし、解釈してローカルなアクションを起こす必要があります。同時に、リーダー自体が互いに干渉し合うので、この干渉を制御する必要があります。ダン・エンゲルスと私は、この問題について多くの論文を書き、RFID の大きな課題

のひとつになると予測していました。私の教え子であるジム・ウォルドロップは、この問題について多くの時間を費やして考え、ニューロンや神経系に似た概念を思いつきました。私たちはこれを「サヴァン」と名付けました。サヴァンは、データを入力として受け取り、それをフィルターにかけ、滑らかにし、解釈して、消化したデータをより上位のサヴァンに伝えるのです。読者と会話するサヴァンの層、下位のサヴァンの情報を集約する 1 つ上のサヴァンの層、そしてすべての情報を集約する最上位のサヴァンの層が存在することになります。各サヴァンは、そのレベルに応じた情報を処理するためのルールを備えています。

この設計には、「参照局所性」の原則が組み込まれています。これは、ある事象に空間的・時間的に近ければ近いほど、その情報が有用であるという考え方である。ある会社で盗難があったというニュースを考えてみましょう。CEO は地理的、組織的に遠すぎて行動できないので、CEO にとって価値は限定的です。しかし、店員にとっては有益である。同じように、同じニュースが 1 日遅れで届いたとしても、店員にとっては何の役にも立たない。このような理由から、RFID のデータを一元的に管理することはできないのです。Savant の階層構造は、意思決定プロセスを分散化します。下位の階層では即座に判断し、上位の階層では消化された情報を有用な抽象度で提示する。

後述するフィールドトライアルの開始とともに、学生が書いたソフトウェアでは拡張性がないことが明らかになりました。それよりも、RFID の採用を軌道に乗せるために、多くの人が使い、改良し、採用できるフリーウェアを開発する必要がありました。しかし、誰がそんなことをするのでしょうか？

大企業はこのコンセプトに投資する気はなく、フィールドトライアルは進んでいました。この時点で、私は OATSystems という MIT の卒業生からなる小さなコンサルティング会社を雇い、ONS と Savant のフリーウェアと標準の産業版を書き、フィールドトライアルに展開させることにしました。これらの努力は、驚くほど成功した。Prasad Putta、Sridhar Ramachandran、Gabriel Nasser が重要な役割を果たしました。ONS と Savant は、私たちの Web サイトから何百回もダウンロードされ、さらに重要なのは、フィールドトライアルと早期普及の推進に大成功したことです。RFID システムはバーコードシステムと全く同じように管理できるという、完全に間違った認識が広まっていたため、RFID 基盤の発明は非常に重要でした。サバントシステムを開発することで、まったく新しい、そして必要な産業を生み出すきっかけを作ることができました。また、この新しい考え方の開発に協力的で寛大だったのがサン・マイクロシステムズで、精神的なサポートや技術指導だけでなく、上級幹部の声も提供してくれた。サンの CEO であるスコット・マクネリーは、オート ID センターを声高に支持した。

## プライバシー

RFID は、当然ながらプライバシーに関する懸念を抱かせる技術の 1 つです。その懸念はある程度正当化される。というのも、パッシブ RFID タグは、GPS (全地球測位システム) ベースの追跡装置、無線センサー、電子レコーダーといったハリウッドの定番アイテムと混同されがちで、映画の中で多くの諜報員が悩まされてきた。もちろん、今日のパッシブタグは、通信性能が低く、コスト的にも厳しいので、プライバシーを侵害しようとする敵対者には不向きな選択肢です。ポケットの中の携帯電話や車の中の通行証の方が、プライバシーを侵害するチャンスは多い。しかし、タグの電波到達距離が長いと仮定すれば、プライバシーへの不安は理解できる。もし誰かがポケットの中身を読んで、あなたが特定の薬を飲んでいると結論付けることができたなら？もし、それがインタビュー中に起こったら？

幸いなことに、プライバシーに関する懸念は、当初から私たちの頭の中にありました。ケビン は 2000 年という早い時期にプライバシーについて語ることで、コミュニティに大きな貢献をしてくれました。1999 年当時も、デビッド・ブロック、ジョー・フォーリー、サニー・スーと私は、プライバシー保護のために EPC の一部をオフにすることについて話していました。MIT の Lab for Manufacturing and Productivity の Given Lounge で行われたこのミーティングでは、匿名性を高めるために ONS を修正する方法についても話し合いました。2001 年、ある大手小売業者が、EPC タグをオフにする電子的な手段をプロトコル内で提供しよう主張し、私たち全員を驚かせました。基本的には、回路内のヒューズを燃やすことで実現できるのです。概して、私が仕事をした企業は、プライバシーの分野で私たちの研究を積極的にサポートし、私を喜ばせてくれました。

2001 年まで、ダン・エンゲルス、ピーター・コール、そして私は、プライバシーに関する技術的な問題について考えることに多くの時間を費やしました。チップをオフにすることで、消費者はコントロールと選択をすることができますが、リサイクルなど下流で起こりうる利益を排除してしまうこととなります。もっと良い方法はないだろうか？私たちの考えは、ロナルド・リベスト教授とその教え子であるスティーブ・ワイスとの共同研究によって、さらに強固なものになりました。私たちはいくつかの論文を発表し、RFID タグが悪用される可能性のあるシナリオをすべて挙げ (現在よりもはるかに広い範囲からタグを読み取ることができる控えめに仮定)、これらの問題に対処する方法をいくつか考え出しました 6。しかし、私は、消費者にタグを消すという選択肢を与えることで、思いつく限りのシナリオで消費者を守ることができると確信しています。

これとは別に、ケヴィンは、RFID タグのプライバシーや社会的影響に関連する事項について助言するため、独立した公共政策の専門家からなる著名なパネルを設立しました。エリオ

ット・マックスウェルが率いるこのパネルは、この問題をさまざまな角度から研究し、タグの現在の状況だけでなく、将来的にどのようなようになりうるかについても、貴重な指針を与えてくれました。このパネルのメンバーの一人が、RFID の「権利章典」(付録 D) を発表した MIT の学生、シムソン・ガーフィンケルでした。

皮肉なことに、プライバシーに関する質問は、私たちがこの分析の大半を終えた後に報道されるようになりました。多くの記事はバランスが取れていましたが、中には技術的に実現不可能な命題に基づいているものもありました。RFID タグの物理的な限界、私たちが研究してきた技術的な問題、私たちが分析したシナリオ、そして私たちがすでに発表したポリシーが認識されていないことがあったのです。その代わりに、衛星から家の中身を読むとか、RFID リーダーで人の居場所を把握するといった、やや非現実的なシナリオを推測している。RF 技術が悪用される可能性があることは確かで、どんな技術でもあり得ます。しかし、EPC の取り組みは、安価であることが前提であるため、最低限の性能しか持たないという、同じ刷毛で塗りつぶされてはならないのです。実際、想定される長距離通信は、サプライチェーンにとって災いとなる。目の前のパレットを読み取ろうとしたとき、半径 1 マイル以内にあるすべてのタグの声が聞こえたとしたら...想像してみてください。プライバシーは重要であり、EPC には消費者を保護するためのセーフガード(安全装置)があります。

私は、このようなプライバシーに関する議論の軌跡の結果、RFID における多くの真のプライバシー問題が議論されることがなかったという残念な結果になったと常に感じています。

EPC はこのような試練を乗り越え、より良いものとなっています。しかし、すべての RFID が EPC であるわけではありません。プライバシー侵害の典型的な例である自動車の通行券を考えてみましょう。高速道路のコインレーンが減少しているため、通行券を持っていない人は、通行券を取得しなければならないというプレッシャーが高まっています。しかし、通行券には、EPC タグにはない特徴、すなわち、長距離移動が可能であること、電源を切ることができないこと(私は自分の身を守るためにダッシュボードの中に入れていますが)があります。私たちが EPC を擁護することは、すべての RFID を擁護することと解釈すべきではありません。すべてのリモートセンシング技術は、慎重に検討される必要があります。

まとめ：究極のシステム問題

現在、学术界ではシステム研究への関心が非常に高いです。実際、MIT には工学システム部門が新設されている。もし、この定義が難しいテーマの関連性や知的満足度に疑問があるとなれば、Auto-ID センターがそれを解消してくれるはずで。私たちのプロジェクトは、通信理論、回路設計、シリコン製造、製造自動化、製紙、暗号、ネットワークング、ソフト

ウェア工学、制御理論、データベース、分散システム、公共政策、サプライチェーン、物流、ビジネスモデリングなど、多様なトピックに触れ、一つの研究屋根の下にありました。世界中の教授、学生、テクノロジー企業、ユーザー企業が連携し、産業界の緊急課題を解決するための多角的な取り組みが行われました。そのインパクトは本物で、今日の投資も本物です。このエキサイティングなテーマと、関連するセンサーネットワークの分野では、まだ多くの研究が残されています。

また、RFID は、システム設計の講義のベースとなる優れたテーマです。実際、2004 年に初めて RFID をテーマにした大学院の授業を担当しましたが、これほど知的満足感を得られる授業は初めてでした。

ジャガーノートを利用する

1999 年から 2003 年にかけて、Auto-ID Center は 1 つのラボから 6 つのラボに、3 つのスポンサーから 100 以上のスポンサーに、そして私たちの目に映る輝きから今日のロールアウトに成長しました。このような驚異的な成長は、まず RFID がサプライチェーンにおける根本的な問題を解決したからである。また、私たち研究者や Auto-ID Center の参加スポンサーは、基本的な技術的課題を克服し、非常に効果的にこのコンセプトを伝えることができました。

6 つの Auto-ID Labs

2000 年、私たちは MIT 内で大きな進歩を遂げていましたが、いくつかの理由から他の研究所の助けが必要であることが明らかになりました。まず、焦点を絞ったことです。RFID 技術や RFID アプリケーションの分野で、私たちが注目していない分野に精通している他の研究所が、私たちの視野を広げる手助けをしてくれるかもしれません。第二に、RFID の使用には地理的な違いがあることです。例えば、北米、欧州、アジアでは規制環境が異なり、サプライチェーンも異なります。リサイクルのやり方だって違う。このような考えから、私たちは他の優れた研究大学を Auto-ID の軌道に乗せることにしたのです。大学を増やすという指令は、Auto-ID のスポンサーから出され、私たちはそれから数年かけてファミリーを増やしていきました。

最初に引き入れたのは、ケンブリッジ大学でした。以前から、製造システムの専門家である Duncan McFarlane 博士のことは知っていた。皮肉なことに、製造オートメーションは私たちが RFID の研究を始めた場所であるにもかかわらず、私たちがやっていないプロセスの一つでした。ダンカンと彼のスタッフは、RFID が製造業に与える影響に関する研究を拡大

する任務を担うのに理想的なグループだったのです。次に、オーストラリア・アデレード大学のピーター・コール教授にお会いしました。ピーターは、無線周波数システムのアイコンであり、RFID ハードウェアの第一人者である。彼は、RFID の分野で有名な ISD 社（現タグシス社）の創業者でもある。私たちは 2001 年までに、この 2 つの研究所を設立しました。2002 年、ケビン・アシュトンとディック・キャントウェルは 1 カ月間日本に滞在し、慶應義塾大学の村井純教授に会った。日本のインターネットの父とも呼ばれる村井教授は、慶應義塾大学に Auto-ID センターを設立しました（最初のネットワークは Jun-net）。村井は、DNS やセキュリティに関する豊富な知識を持ち、信頼性の高い人物である。日本における RFID のための 950～956MHz 帯の確立には、実はジュンが大きく貢献した。ケビンは、中国・復旦大学の第一人者であるハオミン教授にも会った。復旦大学のある上海は、急速に世界のシリコンファブの中心地となりつつある。この分野に造詣が深いハオは、オートアイディー社のもう一人の優秀な仲間だった。そして、2003 年の初めには、旧友であるスイス・ザンクトガレン大学のエルガー・フライシュ教授をセンターに招聘した。ザンクトガレン大学とチューリッヒ工科大学（アインシュタインの母校）の共同研究室では、PML だけでなく、ケンブリッジとともに初期の RFID 値計算機にも多大な貢献をした。ケンブリッジ大学が作成した価値計算機は、ケンブリッジ大学のマーク・ファーガソン氏の協力を得て、Auto-ID Center の Web サイトで提供され、同センターのアウトリーチ活動として成功を取めた。

## 業界の進化

センターは、3 年または 4 年ごとにスポンサーを 3 倍に増やしました。この増加の多くは、スタッフと既存スポンサーの絶え間ない伝道によるものです。やはりビジョンは魅力的だった。スポンサーが増えるにつれて、ラボの組織も進化していきました。2000 年には、アラン・ハバーマンからディック・キャントウェルがエンドユーザースポンサー理事会の会長に就任していた（ただし、アランは今日に至るまで、この取り組み全体の親友でありアドバイザーである）。同じ頃、テクノロジーボードと名付けたベンダーのスポンサーボードも大きくなり、この取り組みに積極的に貢献するようになっていました。サンのダーク・ヘイマンがテクノロジー・ボードの会長に就任しました。（ダークはその後、ジレット社に転職し、現在も RFID に取り組んでいます）。

2001 年、ウォルマート社が Auto-ID Center に参加する。革新的でありながら地に足の着いた企業として知られるウォルマートが研究に参加することは、研究が実用化に近づいていることを意味します。

第二の転機は、プロクター・アンド・ギャンブル社のスティーブ・デイビッド氏が発案したフィールドトライアルである。私は、大学からこのような大きな取り組みを行うのは組織的

に難しいのではないかと思っていたが、スティーブのアイデアは見事なものであった。ウォルマートはこの自主的な取り組みの議長を務め、その中で、RFID ハードウェアと RFID ソフトウェアの実用性、物流への影響、サプライチェーンの経済性への影響などを学びました。最終的に、フィールドトライアルは2年間、8つの州、10都市、40社にまたがるものでした。この実証実験によって、私たちの研究は、他の研究プロジェクトが夢見るような、強い現実味を帯びたものになったのです。フィールドトライアルの成功は、ジレット社からセンターへフィールドトライアルの運営を委託されたシルビオ・アルバーノと、テクニカル・リードを務めたダン・エンゲルスの功績が大きい。Kevin Ashton は、最終的な目標であるアイテムレベルのタグ付けを推し進め、フィールドトライアルで何とか実現することができました。

採用に関する3つ目の重要な出来事は、2002年11月にジレットが5億枚のタグを発注したことです。この注文を受けたベンダーがエイリアン・テクノロジー社である。当時、Auto-ID Centerのエンドユーザー・スポンサーズ・ボード議長でもあったディック・キャントウェルが、スポンサーズ・ミーティングで満員のスポンサーにこの受注を発表した。2000年にアラン・ボースからジレットの取り組みを引き継いだディックは、サプライチェーンにおけるシュリンクや在庫切れを減らすためにEPCが有効であることを熱く説いていた。今回の発注で、ディックは3つのことを発表した。

EPCの技術が現実の世界に登場したこと。

ジレットは、その価値に賭けてみようと思ったのだ。

RFIDの価値を引き出すための競争が始まったのである。

ディック・キャントウェルやスティーブ・デイヴィッドのようなエグゼクティブは、アメリカ企業を前進させる前人未到の役割を担っているのです。

2003年半ばに発表されたウォルマートの「マンドート」が、RFIDの勢いを加速させる最後の、そして最も強力な一歩となった。ウォルマートのCIOであるリンダ・ディルマン氏は、2005年から、上位100社のサプライヤーに対して、いくつかのSKUのすべてのケースとパレットをテキサス州の配送センターに出荷することを要求すると発表しました。これを皮切りに、サプライチェーン全体への展開が始まる。地球上で最大の企業がこのような大々的な発表をすることほど、注目を集めることはないだろう。(さらに、国防総省(DoD)も同様の発表を行い、事態をより明確にしました。現在、Target、Tesco、Metroなど、世界中の小売業者から同様の発表があり、EPCの必然性がさらに高まっています。

EPCglobalの誕生



2002年1月、Auto-ID Centerは大学の枠を超えつつあった。研究はより応用的になり、EPC番号の販売など商業的な要求も大学の能力を超えていた。企業誘致には成功していたものの、スピノフの必要性は明らかだった。2002年1月、私はMITのスポンサープログラム局のキャロル・カーとトム・ヘネベリーに会い、いくつかの選択肢を検討した。非営利の新しい組織を作るべきか？営利を目的としたものを作るか？MITが投資してお金を稼ごうとするのか？その後、機械工学科の新学科長であるローハン・アベヤラトネ教授、マグナンティ学部長、そしてMITの技術ライセンス室長であるリタ・ネルソンとの会談で、MITがこのスピノフに対して非常に寛大なアプローチを取ることを望んでおり、それを主張することさえ明らかになった。社会と世界のために、EPC技術を発展させるための非営利団体を作りたいということだったのです。

その年の暮れ、Uniform Code CouncilのMike DiYeso、Steve Brown、Bernie HoganがMITを訪れ、Kevin、Carol Carr、Tom Henneberry、Lita Nelson、そして私と何度もミーティングを重ねました。UCCは、EPCネットワークの運営と、そのための新しい非営利団体の設立を申し出てくれました。UCCはセンターの初期スポンサーであり、非営利の標準化団体として成功していたことから、これは理想的な結果でした。私たちは、MITからEPCglobalと名付けたこの新しい組織へのライセンス契約を取り交わしました。EPCglobalは、UCCとその姉妹組織であるEANのジョイントベンチャーでした。(リタがこの契約を取りまとめ、MITはその技術が無償でライセンスしました。ケヴィンとリタは、ライセンス契約に、防衛と病院という2つのシナリオを除いて、この技術を人間のタグ付けに使用しないという条項を入れるという素晴らしいアイデアを思いついた。また、EPCglobalとAutoIDセンターは、継続的な研究と引き換えに、センターに資金を提供する関係を継続することに合意しました。

移行に備え、私はすでに標準化プロセスを「ハードウェア・アクション・グループ」と「ソフトウェア・アクション・グループ」という2つの自主運営グループにパッケージ化していました。ハードウェア・アクション・グループはダン・エンゲルスが、ソフトウェア・アクション・グループはサン・ブルース・デラギが率いていました。私は、W3Cのプロセスに基づき、標準化プロセスがどのように機能するかを説明する初期の文書を書いていた。EPCglobalはまた、独自の公共政策グループを設立し、センターが作成した政策を引き継ぎました。新組織を支援するために、MITのTom Scharfeldが認証に関するホワイトペーパーを、Kevinが公共政策に関するペーパーを書きました。2003年11月、最後のAuto-ID Centerの理事会が開かれた。この会議の後、研究以外のすべての活動はEPCglobalに移行されました。EPCglobalのために理事会が作られ、ジレットのディック・キャントウェルがその理事長を引き継いだ。研究は、現在では名称が変わった「Auto-ID Labs」に残されることになった。エルガー・フライシュ教授と村井純教授が、新しいAuto-ID Labsの共同委員

長になった。ダン・エンゲルスは、MIT の研究部長になった。私は研究所の会長から、ケヴィンは Auto-ID Center のエグゼクティブ・ディレクターから、それぞれ退いた。

特にこのような大規模な移行は、道にぶつかることなく行えるものではありません。センターから EPCglobal への移行で大きな障害となったのは、知的方針でした。EPCglobal には、ロイヤリティフリーの規格を提供するという独自の使命があります。EPCglobal はロイヤリティフリーの規格を提供するというユニークな使命を負っています。私たちは、この新しい空間では知的財産が課題になることを常に知っていました。実際、私たちは知的政策についてかなり研究し、それをケヴィンが論文にまとめました<sup>7</sup>。私たちは、RFID が直面する知的政策の地雷原を避けるために、できる限りのことをしました。多くの企業がこのポリシーを採用するのは難しいと判断しましたが、交渉の末、この問題や他の類似の問題は克服されたようです。EPCglobal は現在、400 を超える会員を擁し、数カ国にオフィスを構えています。2004 年 9 月にメリーランド州ボルチモアで開催された最新の EPCglobal ミーティングには、1,200 人以上の参加者があった。

## 結論

1999 年と 2000 年、ケヴィンと私は何度も夜な夜な EPC の将来と可能性について考え続けました。しかし、振り返ってみると、Auto-ID Center は私の期待をはるかに上回るものでした。産業界と学術界の協力という成功の方程式を見出したのです。ジレット、プロクター & ギャンブル、エイリアン・テクノロジーなど、ユーザーやテクノロジーのコミュニティから、非常に協力的なスポンサーを得ることができたのです。さらに、UCC という尊敬すべき業界団体もありました。このような基盤があったからこそ、私たちは発明をしたり、象徴的なことをしたりすることができたのです。

私たちの主張と予測の多くは、分析とリサーチに基づいていましたが、中には直感的な反応に基づくものもありました。研究者、スポンサー、そしてコミュニティ全体がそのことに強くコミットしていたため、それらは自己実現的な予言となった。私たちは、時には無謀にも、雑念を無視し、否定的な意見に目をつぶることができました。私たちの予言の多くは現実となりました。いくつかはまだ進行中である。また、失敗したものもあります。例えば、ミニマリズムとネットワークの活用というマントラは、わずか 4 年前には伝えるのが難しかったのですが、今では広く受け入れられています。タグは 5 セント以下で製造できると予測しましたが、これは今でも信じていますし、おそらく以前よりもさらに自信を持っています。しかし、まだ生産量は少なく、タグの価格は 20 セント程度です。しかし、UHF タグの価格が 1 ドル以上だったことを考えると、これは大きな前進だと思います。私たちが間違っていたのは、アイテムタグが間近に迫っていると思い込んでいたことです。ケースやパレ

ットのタグは普及しつつありますが、アイテムのタグ付けは経済的にまだ一般的に実現可能とは言えません。

一方、RFID、特に EPC 形式の RFID は、今後も継続されるでしょう。RFID と EPC を対比させることは非常に重要で、EPC は RFID 技術を使用する一つの方法であり、責任ある経済的な方法であると断言します。小売業者にとって EPC の価値は否定できません。メーカーにとっても、その価値は大きいと私は考えています。課題は、この価値を引き出すためにビジネスプロセスを変更することである。

EPC は、さまざまな業界に影響を与えます。航空会社の手荷物追跡がより効率的で安全になり、医薬品の偽造がより困難になり、より新鮮な食品の配送が可能になり、自動車や航空宇宙産業ではスペアパーツの管理がより適切にできるようになる。セミパッシブ、アクティブタグは、より新しい、よりエキサイティングなアプリケーションを開拓しますが、パッシブ RFID タグに誤って向けられた政策的な懸念も伴います。いずれにせよ、技術は進化し続け、私たちは社会として、生活水準を向上させるために新しい技術の最良の部分を引き出し続けなければなりません。

Sanjay Sarma は MIT の教授であり、Auto-ID Center の共同設立者である。

詳細については、Landt, J. "Shrouds of Time: The History of RFID." [www.aimglobal.org/technologies/rfid/resources/shrouds\\_of\\_time.pdf](http://www.aimglobal.org/technologies/rfid/resources/shrouds_of_time.pdf) を参照。

Joshi, Y. "Information Visibility and Its Effect on Supply Chain Dynamics," M.S. Thesis, Department of Mechanical Engineering, MIT. 2000 年 6 月。

Haberman, A. (ed.) 25 Years Behind Bars. Harvard University Wertheim Publications Committee. Cambridge: Harvard University Press, 2001.

Swamy, G. and Sarma, S. "Manufacturing Cost Simulations for Low Cost RFID Systems." 2003. [www.autoidlabs.org/whitepapers/mit-autoid-wh017.pdf](http://www.autoidlabs.org/whitepapers/mit-autoid-wh017.pdf).

Sarma, S.E., Weis, S.A., and Engels, D.W. "Low-Cost RFID and the Electronic Product Code," Workshop on Cryptographic Hardware and Embedded Systems (CHES 2002), San Francisco, CA, August 12-15, 2002.

Engels, D.W., Rivest, R.L., Sarma, S.E., and Weis, S.A. "Security and Privacy Aspects of LowCost Radio Frequency Identification Systems," accepted for publication to the First International Conference on Security in Pervasive Computing (SPC 2003), March 12-14, 2003.

Ashton, K. "Towards an Approach to 'Intellectual Property'." 2002 年。  
[www.autoidlabs.org/whitepapers/MIT-AUTOID-EB-004.pdf](http://www.autoidlabs.org/whitepapers/MIT-AUTOID-EB-004.pdf).

タイトル "RFID：アプリケーション、セキュリティ、プライバシー"

著者 シムソン・ガーフィンケル、ベス・ローゼンバーグ

ISBN: 0321290968

出版社 アディソンウェスリープロフェッショナル

公開しました。2005年7月6日

章 3

書籍サイト：<http://www.awprofessional.com/title/0321290968>