

良品生産性向上のための Q-upSystem を支える データ収集・分析基盤の開発

中西 功

検査システム事業部では、従来からプリント実装基板を 3D 計測し、定量化された品質基準に従って検査を行う AOI (Automated Optical Inspection)、3D-CT 方式ではんだの形状の検査を行う AXI (Automated X-ray Inspection)、各工程検査装置からの品質データや生産情報を分析する Q-upNavi、不良を作らない生産作りに貢献するためにマウンタと連携する Q-upAuto を開発しており、多くの生産現場で、不良流出防止や品質維持改善に貢献している。

Q-upAuto と Q-upNavi で構成する Q-upSystem は、扱うデータや処理を追加しながら開発を進めており、段階的な機能拡張を生産現場に適用するためには、高速なサーバを使用せずに機能を実現する基盤が必要となる。

今回、ビックデータのようなデータ分析基盤の構築方法を元に、製造データと品質データの紐づけ・蓄積・分析の知見を加えた Q-upSystem のデータ収集・分析基盤を開発した。最終工程の品質データを起点に前工程の検査基準を最適化する機能用のデータ検索・取得の性能評価を行い、高速なサーバを導入することなく十分な高速性を得られた。

Development of Data Collection/Analysis Platform that Supports Q-upSystem for Improving Non-defective Product Productivity

NAKANISHI Isao

Inspection System Division has traditionally performed 3D measurement of printed mounting boards and inspected according to quantified quality standards. AOI (Automated Optical Inspection) and AXI (3D-CT method) to inspect the shape of solder. Automated X-ray Inspection, Q-upNavi that analyzes quality data and production information from each process inspection device, and Q-upAuto that cooperates with a mounter to contribute to production that does not create defects, and many At the production site, it contributes to the prevention of defective outflow and the maintenance and improvement of quality.

The Q-upSystem, which consists of Q-upAuto and Q-upNavi, is being developed while adding data and processing, and in order to apply step-by-step function expansion to the production site, use a high-speed server. You need a foundation to realize the function without.

In this paper, we have developed a Q-upSystem data collection/analysis platform that adds knowledge of linking/accumulating/analyzing manufacturing data and quality data based on the method of constructing a data analysis platform such as big data. Based on the quality data of the final process, we evaluated the performance of data search / acquisition for the function that optimizes the inspection criteria of the previous process, and obtained sufficient high speed without introducing a high-speed server.

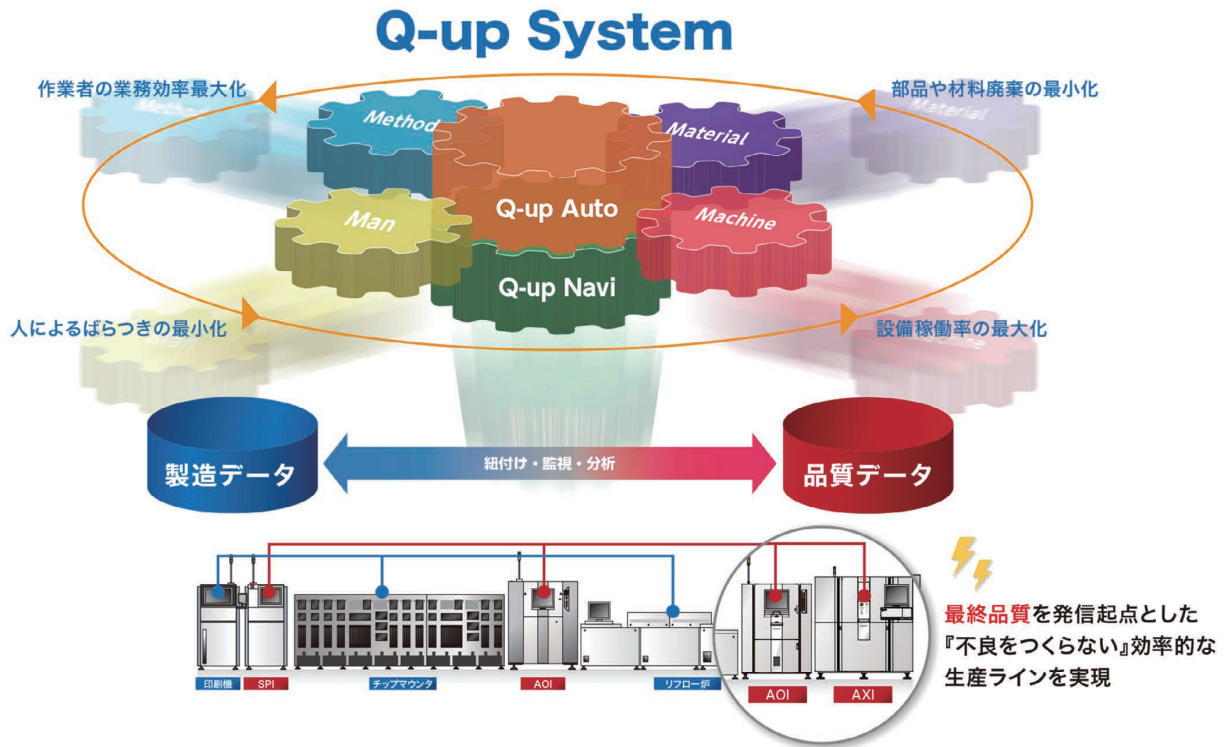


図1 Q-upSystemの全体像

1. まえがき

近年、自動車の安全設備やハイブリッド車の普及が急速に進み、自動車に搭載される電子部品基板が急速に増加しており、将来の自動運転に向けて、より高度化される見込みである。自動車に搭載される部品には高い品質が求められるため、プリント実装基板の実装ラインは不良を流出させないだけでなく、手直して良品とすることも禁じられる場合があり、不良を作らないことが必要になっている。

また、豊富な経験と知識を持つ熟練した実装ライン担当者、製造技術者の高齢化が進み、高い品質を達成し維持する人材がこの10年に渡り減少し続けている。そういった人材が確保できている現場においても、コスト競争力が求められるため、改善に多くの工数を使うことができない。また業界のグローバル化が進み、高い品質を達成し維持する人材がない拠点でも、高い品質を達成することが求められている。

従来より、検査システム事業部では変動する生産の4M「Man（作業者）」「Machine（機械設備）」「Material（原材料）」「Method（作業方法）」に対応し、良品を作り続けるために検査装置の品質データを起点に、各設備データの紐づけ⇒収集⇒監視⇒改善を自動で実行するQ-upSystem（図1）を開発し、顧客の品質改善・維持とコスト競争力への貢献を目指している。Q-upSystemは、検査装置の品質データと生産設備（印刷機・マウンタなど）の製造データを紐づけし、リアルタイムに異常を警告する

Q-upAuto¹⁾、各工程検査装置からの品質データや生産情報を分析するQ-upNaviで構成される。

Q-upSystemは、品質改善の機能を提供するアプリケーション部と検査装置の品質データ、生産設備の製造データを収集しアプリケーションに提供するデータ収集・分析基盤で構成される。アプリケーションは、リアルタイムに品質の変動を捉えて品質改善を行うために、大量のデータを基にした自動分析を行う必要があり、データ収集・分析基盤は、高速なデータの紐づけとアプリケーションから指定された条件のデータを紐づけた状態で高速に収集することが必要となる。

実装基板の実装工程では、生産ライン数は最大で100ライン程度であり、サイクルタイム（10秒～1分程度）毎に製造データ、品質データが生成される。現在のQ-upAutoでは、マウンタの製造データと検査装置からの製造データを基板1枚毎に収集して、基板1枚毎のファイルとして保存し、基板1枚毎に紐づけを行っている。品質データには、大量の計測値があるため、1ライン分のマウンタの製造データと品質データは1日に1GB程度であり、90%以上は計測値の数値データとなる。現在、1台のサーバで3ライン分のデータ収集と紐づけは可能であるが、ファイルの入出力が多いために4ライン以上の処理が難しく、4ライン以上の顧客への適用ができないため、データの格納方法を改善する必要がある。また、現在のQ-upNaviでは、複数の検査工程の検査結果・計測値を取得できるが、計測

値を基板 1 枚毎のファイルとして保存しているため、複数の基板の計測値を取得する場合に時間がかかるため、リアルタイムな自動分析機能の開発に利用できない問題がある。

近年のビックデータのようなデータ分析基盤はデータウェアハウス²⁾を含む表 1 に示す三層のデータレイヤーで構成し、BI (Business Intelligence) で意思決定を支援することが多い。これらはリレーショナルデータベースや NoSQL データベースを用い、オンプレミスの高価なサーバ上、または、クラウド上で構築することが多い。これらの技術は様々な分野で適用されているが、先に述べたように実装基板の実装工程では、製造データと品質データの紐づけ・蓄積・分析の知見が必要なこと、および、ネットワークをクラウドに接続することや高価なサーバを用いることが難しいため、適用されている事例はない。

本稿では、大量のデータの収集と紐づけ、および、自動検知、分析のために品質データを高速に検索・取得する Q-upSystem を支えるデータ収集・分析基盤の構築方法について紹介する。実装基板の実装工程のデータの特性と自動分析に適したデータ設計について述べ、構築したデータ収集・分析基盤の基本性能について述べる。

表 1 一般的なデータレイヤー

データリポジトリ	説明
データレイク	データソースとなるシステムやデータベースから収集してきたデータをそのままの形で保存するもの。データソースから分離することで、再収集が必要な場合にデータソースへの影響をなくすことができる。
データウェアハウス	データソースやデータレイクから収集したデータを分析のために、目的別に編成され、統合された時系列で、削除や更新しないデータの集合体。
データマート	データウェアハウスの中から特定の目的に合わせた部分を取り出し、活用に適した形に加工したデータを保持する。

2. データ収集・分析基盤の課題

2.1 プリント実装基板の実装工程のデータ

プリント実装基板の実装工程は、次のように構成される。先頭から、はんだ印刷機、SPI、マウンタ、マウント後 AOI、リフロ炉、リフロ後 AOI、AXI が並ぶ。それらの装置は図 2 の上部のように一直線で配置され、上流から下流（この図の場合左から右）にプリント配線板（以降基板

と呼ぶ）を流しながら実装を行う。はんだ印刷機は基板にステンシル状の金属板を介してはんだを印刷し、SPI は印刷されたはんだの印刷状態を検査する。マウンタはそのはんだの上に電子部品を搭載し、マウント後 AOI はその部品の搭載状態を検査する。リフロ炉は部品を実装した基板を加熱してはんだを溶融させ、基板を冷却させることではんだを硬化させて電子部品を基板に固定する。リフロ後 AOI と AXI は、このようにして実装された完成品を検査する。

基板には図 3 のようにトレーサビリティ用に基板 ID が刻印されており、一つまたは複数の個片基板がある。個片内の回路番号の場所に電子部品が搭載され、電子部品のピンははんだにより基板に固定されている。図 2 に示すように、生産・検査後に各データが生成される。検査装置で NG 判定された場合のみ、目視検査を行い、NG 判定した回路の部品、ピンの目視検査結果データが生成される。

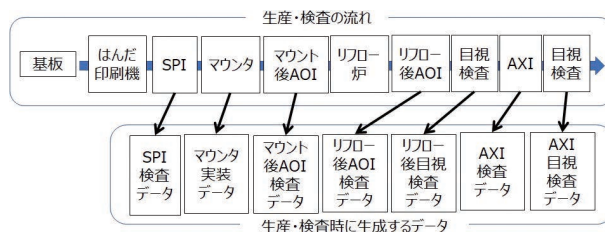


図 2 生産・検査の流れと生成するデータ

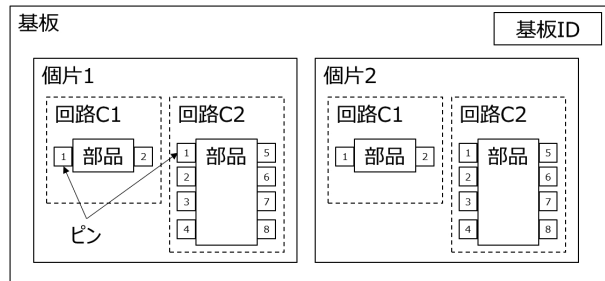


図 3 基板の構造

表 2 に基板サイズ 236 mm×154 mm、総部品数が 938 個、総ピン数が 2,692 個の基板 1 枚当たりの品質データ量を示す。検査結果の数は、総部品数と総ピン数と同数であり、計測値の数は SPI が 29,612 個、マウント後 AOI が 132,122 個、リフロ後 AOI が 157,464 個となる。

表 2 基板 1 枚当たりの品質データ量

項目	SPI	マウント後 AOI	リフロ後 AOI
検査結果数 (部品)	—	938	
検査結果数 (ピン)	2,692		
計測値数	29,612	132,122	157,464

2.2 データ収集・分析基盤の課題

Q-upSystem のアプリケーションは、機能毎にリアルタイムや1日に1～24回などの周期、または、ユーザによるトリガでデータ収集・分析・監視を行い、条件を満たした場合に、追加のデータ収集・分析や、改善の処理を実行する。Q-upSystem の特徴は、品質データを起点に上記の処理を行うことであり、データ収集・分析基盤に対する課題は下記になる。

課題 1：

製造データ、品質データをプリント実装基板の実装ラインのサイクルタイム内（10秒～1分程度）で紐づけること。

課題 2：

品質データを高速に検索・取得できるようにデータを格納し、アプリケーションが利用しやすい形に変換すること。

課題 3：

生産ライン数（最大 100 ライン程度）に対応できるスケラビリティがあり、工場内のオンプレミスのシステムとして、高価なサーバを使用せずにシステムを構築できること。

課題 1 は基板 1 枚毎の製造データと品質データの紐づけ処理性能面の課題である。例として、表 3 に Q-upAuto の不良通知機能を示す。表 3 のデータ収集・分析基盤機能では、表 2 の基板をサイクルタイム 30 秒で生産する場合、938 個の部品を搭載した製造データと 3 つの検査工程の検査結果を 30 秒以内に紐づける必要がある。

表 3 Q-upAuto 不良通知機能

項目	内容
アプリ機能	発生した実不良を実装したマウンタデバイス ID を UI に表示する。
データ収集・分析基盤機能	発生した実不良を実装したマウンタデバイス ID をリアルタイムに集計する。

課題 2 は品質データの検索性能に関する課題である。格納している大量の品質データの中から、効率的に検索・取得できる必要がある。例として、表 4 に Q-upOpti（2021 年販売）の検査基準最適化機能を示す。課題 2 は、表 4 のレスポンス確保のために必要なものである。表 4 の前工程の検査基準の最適化の計算のためには、計算に必要なサンプル数となる 10～200 枚程度の基板、部品の検査結果と計測値、および、検査基準が必要になる。検査基準の最適化計算では、同一の基板・部品の複数工程の検査結果・計測値と現在の検査基準を考慮するため、図 4 に示す入力データ構造が必要となる。例えば、10 日分の 1 ラインの製造データと品質デー

タ（約 10GB）の中から、リフト後の部品の検査結果に関連する品質データ（約 10MB）を抽出し、同一部品のデータとして紐づけた形に 10 秒以内に変換することである。

表 4 Q-upOpti 検査基準最適化機能

項目	内容
アプリ機能	リフト後検査で実不良を検知した際、前工程の検査（SPI またはマウント後 AOI）で検知すべき不良の場合に、計測値を元に前工程の検査基準の最適値を計算し、検査基準を変更する。
データ収集・分析基盤機能	アプリから指定された実不良の部品品番と同じリフト後の検査基準の計算に必要な数の良品と不良の計測値と検査基準、および同じ基板の前工程の部品の計測値と検査基準を返す。

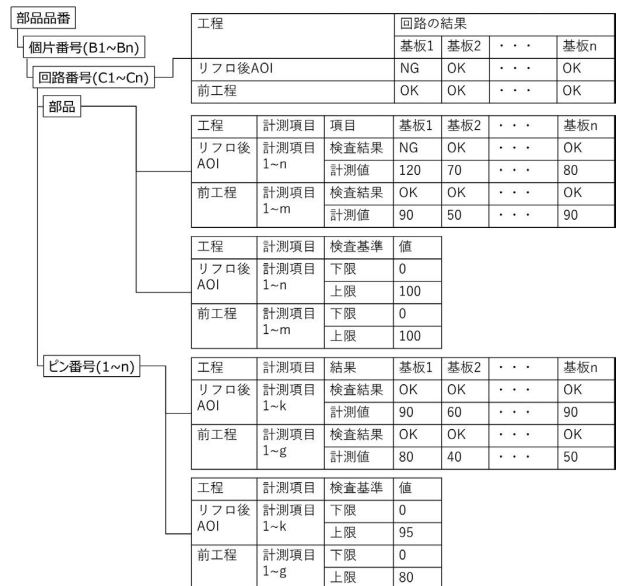


図 4 検査基準最適化計算の入力データ構造

課題 3 は、適切なコストで Q-upSystem を導入するために必要な課題である。顧客毎に生産ライン数やネットワーク構成も異なるため、多様な構成に対応できる必要がある。

次節では、これらの課題に対する解決方法について述べる。

3. データ収集・分析基盤の設計

2.2 節の課題 1 の解決のために、同一テーブルへのデータの同時書込みによる不整合を回避するためのロック待ちによるレスポンス低下を避けることが必要である。そこで複数の実装ラインの装置からのデータの入力に対して、データテーブルを装置毎に分割し、データをロックする範囲は装置毎に限定する。データの紐づけ処理は、装置毎に保存されたデータを入力として、実装ライン毎に独立して

行うことでレスポンスを確保する。

2.2 節の課題 2 の解決のために、データの検索・取得時に、サーバのディスク I/O を減らすようにアクセスするデータの範囲を局所化することが必要である。そこでデータのアクセスパターンとデータ量に応じて、データテーブルの種類と期間の分割を適切に設計する。品質データの基本取得パターンは、「期間と品質の条件を指定して検索し、検索結果に基づき、関連するデータや詳細データを取得する」となる。基本パターンの例として、表 4 の検査基準最適化機能のための検査基準最適化計算の入力データの取得シーケンスを図 5 に示す。図 5 は前工程がマウント後 AOI の場合を表している。アプリケーションは、「[A1] 期間を指定して実不良の回路一覧を検索」した後、「[A2] 実不良の回路、前工程、サンプルの基板数を指定してデータを取得」する。この時、アプリケーションが取得するデータ量の 90% 以上は「計測値」であるため、「[B1] [B2] 検査結果・計測値を抽出し図 4 の構造に設定」の中の計測値の抽出と設定に最も時間がかかる。この基本パターンを元に、検査結果のテーブルを「検査結果(基板)」「検査結果(回路・部品・ピン)」「計測値」とし、利用頻度とデータ量を考慮して、1 テーブル内の期間をそれぞれ、1 日、1 時間、10 分とする。また、「計測値」は部品品番毎に取得・分析するため、部品品番毎に分割する。上記の分割をすることで、検索・取得時のアクセスするデータの範囲を局所化でき、高いレスポンスが期待できる。

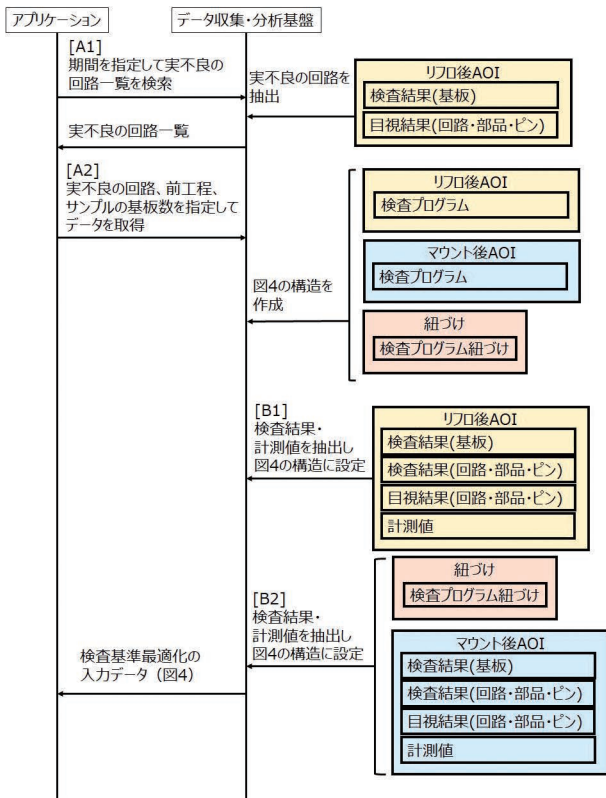


図 5 検査基準最適化計算の入力データの取得シーケンス

2.2 節の課題 3 に関しては、データを検査装置、期間で分割することにより、データの分散配置が可能となり、スケールアウト（コンピュータの台数を増やすことでシステム全体の性能を向上させること）が容易になる。これにより生産ラインを段階的な置き換えや増設時に段階的に安価なサーバを増やすことや、システム規模に応じたサーバ選定が可能となる。

以上を考慮して、表 1 のデータレイヤーを適用したデータ収集・分析基盤の構成を図 6 に示す。図内の矢印はデータの流れを表している。データレイクには、アプリケーションが必要とした検査画像を検査装置から取得した後に配置し、検査装置からの複数回の取得を回避する。データウェアハウスには、検査装置 (SPI、マウント後 AOI、リフロ後 AOI、AXI) の品質データ (検査結果、検査プログラム) と生産設備 (マウント) の実装データと各工程の紐づけデータを配置する。データマートには、アプリケーションが表 3 の不良通知機能でそのまま利用できる実不良の部品を実装したマウントデバイス ID のリスト「実不良実装データ」を配置する。

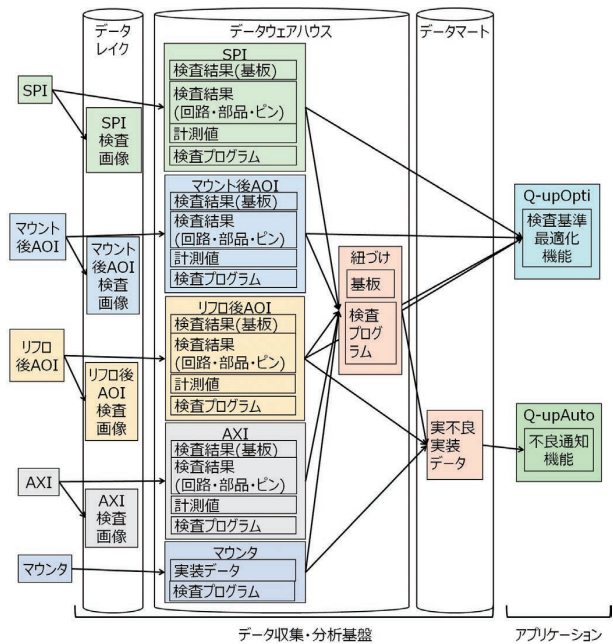


図 6 データ収集・分析基盤の構成

4. 性能評価

4.1 性能評価 1

本節では、データ量が多く高速化の難易度が高い 2.2 節の課題の検証のために、高価でないサーバでファイルベースのシステムを C# で実装し、課題 1 を対象とした紐づけ速度の性能評価（以降性能評価 1 と呼ぶ）を行った結果を述べる。性能評価 1 では、弊社工場の 5 時間分の生産デー

タの中から、マウンタと検査装置 2 台分のデータに対して、検査不良データの紐づけ時間の評価を行う。

性能評価 1 の結果を表 5 に示す。表 5 より、1 基板あたりの紐づけ時間は 13.3 ms となり、実装ラインのサイクルタイム (10 秒～1 分程度) より、十分小さい時間となった。これは、「検査結果 (回路・部品・ピン)」のテーブルを 1 時間単位にすることで、データの紐付け時の I/O を局所化していることが大きな要因である。

表 5 性能評価 1 の結果

ケース	紐づけ部品数 (検査不良部品)	検査枚数	紐づけ時間 [ms]
1	116	148	1559
2	188	163	1873
3	206	191	1927
4	191	96	2274
5	72	41	839
合計	773	639	8,472
1 部品あたりの紐付け時間 [ms]			11.0
1 基板あたりの紐付け時間 [ms]			13.3

4.2 性能評価 2, 3

本節では、表 4 の検査基準最適化機能を対象としたデータの取得速度の性能評価 (以降性能評価 2 と呼ぶ) を行った結果を述べる。また、性能評価 2 の比較のために従来の Q-upNavi で計測値の取得速度の性能評価 (以降性能評価 3 と呼ぶ) を行う。性能評価 2 では、2 つの工程の計測値を取得するが、Q-upNavi には、複数工程の計測値を紐づけて取得する機能はないため、2 つの工程の計測値の取得時間を、1 つの工程の計測値の取得時間を 2 倍して性能比較を行う。

性能評価 2、3 では、938 個の部品を搭載した基板のデータを用いた。性能評価 2 では、表 6 のデータに対して、基板 10、20、50、100、200 枚のリフロ後 AOI とマウンタ後 AOI のデータを取得し、図 4 の構造に変換するまでの時間を計測した。性能評価 3 では、表 6 のデータに対して、基板 10、20、50、100、200 枚のリフロ後 AOI の計測値のデータを取得し、2 倍の時間を 2 工程分のデータ取得時間とした。性能評価 1、2 に使用した PC のスペックは、OS : Windows 10、CPU : Intel® Core i7-6600U@2.60GHz、メモリ : 16GB、ストレージ : SSD のノート PC であり、性能評価 3 では商品の標準スペックのサーバ (OS : Windows Server 2016、CPU : Intel® Xeon® E5-2630 v4@2.40GHz、メモリ : 16GB、ストレージ : SAS 10,000RPM) を使用した。

性能評価 2 の結果を図 7 と表 7、性能評価 3 の結果を図

8 と表 8 に示す。性能評価 2 と性能評価 3 の速度比較を表 9 に示す。表 9 より、性能評価 2 の時間は、性能評価 3 の時間より基板枚数 10 枚で 19.7 倍以上短縮され、基板枚数が増えるにつれ高速化の効果が大きくなるなど、従来と比べ大幅な高速化ができた。これは、計測値のテーブルを部品品番と期間で分割することにより、データ取得時の I/O を局所化していることが大きな要因となったためである。従来のシステムは計測値を除くデータを検査装置毎に分割せずに、リレーショナルデータベースのテーブルに格納し、計測値のデータは、基板 1 枚毎のファイルに格納していたため、複数の基板の計測値を取得する場合に I/O が多くなり、時間がかかっていた。

表 6 性能評価 2、3 のデータの条件

名称	部品種	ピン数	基板上的部品数
部品品番 A	チップ抵抗	2	40
部品品番 B	SOP	8	4
部品品番 C	QFP	208	2

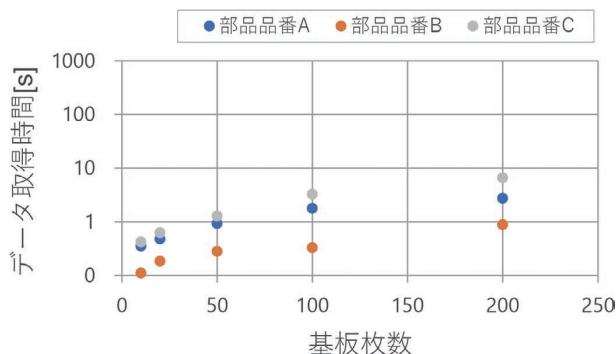


図 7 性能評価 2 の結果 (2 工程のデータ取得時間)

表 7 性能評価 2 の結果 (2 工程のデータ取得時間)

基板枚数	取得時間 [s]		
	部品品番 A	部品品番 B	部品品番 C
10	0.35	0.11	0.42
20	0.48	0.18	0.63
50	0.92	0.28	1.28
100	1.79	0.33	3.26
200	2.75	0.88	6.59

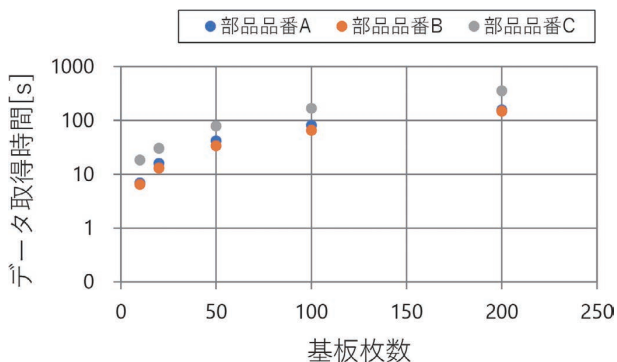


図 8 性能評価 3 の結果 (2 工程のデータ取得時間)

表 8 性能評価 3 の結果 (2 工程のデータ取得時間)

基板枚数	取得時間 [s]		
	部品品番 A	部品品番 B	部品品番 C
10	6.94	6.49	18.5
20	15.93	13.1	30.3
50	41.72	33.69	78.89
100	81.12	65.66	168.97
200	156.96	148.93	356.79

表 9 性能評価 2 と 3 の速度比較結果

基板枚数	取得時間の比率 (性能評価 2 の時間 / 性能評価 3 の時間)		
	部品品番 A	部品品番 B	部品品番 C
10	19.7	58.7	44.0
20	33.3	71.2	48.4
50	45.1	119.7	61.4
100	45.4	200.2	51.9
200	57.2	169.3	54.2

5. むすび

製造データ、品質データのリアルタイムの紐づけと高速な検索取得を高価なサーバを使用せずに実現する課題に対して、データのアクセスパターンとデータ量に応じたデータテーブルの種類と期間の分割を適切に設計したデータ収集・分析基盤を開発した。最終工程の品質データを起点に前工程の検査基準を最適化する機能に向けた性能評価を行い、高速なサーバを導入することなく十分な高速性を得られた。本基盤は、2021 年に販売した Q-upOpti を支える基盤となっている。

今後は、現在の Q-upAuto の対応ライン数の拡張のために、2.2 節の課題 1 の解決方法の適用や、より高い品質を実現するシステムに向けて進化する Q-upSystem や AOI/

AXI を支えるデータ収集・分析基盤として、データや処理を追加し、システム進化を加速させる予定である。

最後に、今回の開発に多大なご協力をいただいた検査システム事業部の方々に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 森弘之, 岸本真由子. AOI とマウンタの連携による故障予知システム Q-upAuto. OMRON TECHNICS 162. 2019, Vol.51, No.1, p.105-111.
- 2) Inmon, W. H. Building the Data Warehouse. 1992, 272p.

執筆者紹介



中西 功 NAKANISHI Isao
 インダストリアルオートメーションビジネス
 カンパニー
 検査システム事業部 開発部
 専門：ソフトウェア工学、データ工学
 博士（工学）

Windows は、米国 Microsoft Corporation の米国およびその他の国における登録商標です。

Intel® Core、Intel® Xeon® は、Intel Corporation の米国およびその他の国における登録商標です。

本文に掲載の商品の名称は、各社が商標としている場合があります。