

産学連携における最適化研究の取組事例と 中小企業から OR 学会への期待

羽森 寛

オペレーションズ・リサーチ研究の歴史は長く、過去現在を含めて数多くの優れた研究成果が世界中で発表されていることは言うまでもない。一方で、それら成果が効率的かつ有効的に実社会で広く浸透し、多くの人々に共有されているかという観点においては、厳しいように思われる。中でも、日本国内においては諸外国に比べて研究成果に対する適用実施例が少ないとも言われており、研究者と企業の間になかならずギャップが存在している。そのような現状を鑑み、本稿ではオペレーションズ・リサーチ研究成果の実社会への適用に焦点を当て、中小企業における取組事例を基にその成果と課題、さらに今後の展望について述べる。

キーワード：電気検査、巡回セールスマン問題、最適化事例研究

1. はじめに

オペレーションズ・リサーチ（以下 OR）という言葉は広く社会一般に知られているわけではない。一方で、OR 研究は実社会のあらゆる場面においてその成果を幅広く活用することのできる、工学系研究の中でも数少ない分野の一つであると認識している。会社経営陣の一員でもある筆者からすれば、経営戦略から在庫管理、装置性能改善、自動化など少し考えるだけでも自社へ適用できる多くのテーマが関連学会で発表されており、学会の発展そのものが社会の発展へつながると確信している。特に近年は、理論研究だけでなく実用化を強く意識した成果も徐々に寄稿されるようになってきており、変化の激しい時代のニーズに応じて学会そのものが変わりつつあることは企業として大変歓迎すべきことである。

一方で、実用化に焦点を当てた研究においては、OR の性質上、対象事例が大手企業となる場合が多く、その実用化には大企業特有のいくつかの課題が残されていることもある。さらに、中小企業を対象とした事例は比較的少なく、多くの企業が期待し、望むような産学連携が順調に進んでいるとまでは言えない。

理由の一つとして、近年は大学研究者側が研究以外に、教育の重視や論文の査読、研究予算の確保に大学運営など業務が多岐にわたっており、新たなプロジェクトに手が回らないという現状も少なからず影響があるように思われる。また、研究成果を論文にまとめ、積

極的に寄稿したい大学側と、コア技術の開示をなるべく避けたい企業側で思惑が異なることなども挙げられる。しかしながら上に述べたとおり、経営に常に新たな変化と付加価値を与え続けなければならない中小企業にとって、学会への期待は益々高くなっており、それぞれの文化の壁を乗り越えた産学連携は今後重要になることは間違いない。

このような現状を鑑み、本稿では OR における最適化研究分野の実用化に焦点を当て、特に中小企業の視点から産学連携の現状と課題について述べるとともに、実際の取組事例を基に、今後の学会への期待についても述べる。

2. 中小企業を取り巻く現状

中小企業庁の統計によると、全産業における中小企業、小規模事業者の割合は 99.7% に上る（2012 年 2 月時点）。国内企業の大部分が中小企業であることは言うまでもなく、ある学術分野における研究成果を広く社会全般に適用し効果を得るには、マジョリティを取り込んだ研究開発が必須である。ただ、中小企業の現状は総じて厳しい。中でも、国内の伝統的産業であるものづくりに関連する企業は長く続いた円高の影響で産業の空洞化が進んでおり、一層厳しさを増している。ちなみに、直近では円安傾向が進み、輸出産業を主とする企業にとっては一見追い風に思われるが、過度な円高による苦肉の策として一度海外生産に踏み切った生産体制を、円安を理由に再度国内に戻すことは現実的に困難であり、全体的に厳しい状況は続いている。そのような状況の下、新たな研究開発への投資については、その必要性および有効性は十分認識しつつも、慎

はもり ひろし
オー・エイチ・ティー株式会社
〒720-2103 広島県福山市神辺町西中条 1118-1

重にならざるをえない。

研究成果の社会還元とは必ずしも利益を生むものばかりではなく、営利目的を除外した取組事例も必要である。中長期的視点で進める基礎研究がなければ稀にみる画期的な研究成果を創り出すことはできない。しかしながら、上述のとおり厳しい状況におかれている中小企業においては、やはり利益と直結し、かつ短期間に、確実に成果を生むものでなければ、新規研究開発投資に踏み出すことに躊躇してしまう。一方、中小企業の場合、一度方向性を決断するとその後の意思決定は大手企業と比較して格段に早く、研究成果の早期実用化を目指す大学側とのシナジーが生まれる可能性も高い。

そこで、産学連携を効率的に取り入れ自社製品の付加価値を高めている電気検査機器メーカー、オー・エイチ・ティー社（以下 OHT）を例に挙げ、新規研究開発投資判断から研究成果の実用化に至るまでの過程について紹介する。なお、OHT は非接触電気センサーという独自コア技術で完全非接触による液晶フラットパネル向け電気検査装置の開発に成功 [1] し、現在世界の液晶 TV における電気検査シェア約 80% を有する企業である。さらに、OHT は広島県が 100% 出資し設立された投資ファンド運営会社（株式会社ひろしまイノベーション推進機構）が投資先第 1 号案件として決定し、約 10 億円を投資するとともに、株式の 87.5% を保有している。本件は、企業再生ファンドとは異なり、地方経済の活性化と成長産業への積極投資を目的に、県が補助金などの間接的サポートではなく、投資スキームを通じて直接企業経営をサポートする全国でも初めての取り組みであり、その成否は注目を集めている [2]。

3. 産学連携に基づく共同研究

3.1 共同研究の背景

非接触式検査では確固たるシェアを確保していた OHT であるが、一方で従来の接触式検査を用いなければならない市場においては熾烈な競争に直面しており、他社とのさらなる差別化を図るための新たな技術を必要としていた。そこで、OR の一部である最適化研究に注目し、装置の機能にその成果を適用することで、検査機の付加価値向上を目指した。ただし、OHT は最適化に関する専門知識を有していなかったため、広島大学大学院工学研究院・片桐英樹准教授に産学連携による共同研究を依頼し、理論研究からプログラム製作、改良に至るまで、全面的なバックアップをいただ

表 1 研究テーマ一覧

テーマ	難易度	貢献度	開発期間
A	低	低	3 カ月
B	低	中	6 カ月
C	中	大	6 カ月
D	大	大	1 年
E	大	大	1.5 年

いた。以下に具体的なプロジェクトの進め方について述べる。

近年、産学連携はあらゆる分野で成果を挙げつつあるが、大学と企業双方の思惑どおりに進まないケースもある。企業側の目線として例えば、実際の現場では、新たな技術導入による大きな効果よりも、ほんの少しのデメリットや、見えないリスクのほうが重要視されることが多い。言い換えれば、大きなメリットと僅かなデメリットより、小さなメリットとデメリット・リスクのない研究成果のほうが圧倒的に受け入れられやすい。この点は、すべての事例に該当するわけではなく、また研究者側には理解されにくいかもしれないが、特に中小企業をターゲットとした産学連携となると意識すべきである。

一方で、大学側の目線として、小さなメリットでは研究成果としてまとめあげることが難しく、成果が成果として認められにくいという懸念も発生する。そこで、OHT では両者のギャップを埋めるため、いくつかのマイルストーンを設け、プロジェクト初期段階は短期的で確実に得られる小さな研究成果を目標としつつ、プロジェクト推進過程においてその成果と互いのメリットを確認しながら、中期的な成果を模索していく進め方を採用した。表 1 は実際に OHT が同時平行して進めている研究テーマ一覧であるが、全体的にテーマごとのリスクと得られる成果、開発期間のバランスを重視し、両者にとって Win To Win になるようプロジェクト全体を管理している。次に、研究投資可否を企業として判断するための指針について述べる。

3.2 企業側の研究投資指針

OHT が産学連携を含めた研究開発への投資を判断する際は、以下に示す 10 項目の評価基準について FS（実現可能性評価）を行っている。なお、企業経営における成果の定義とは、新たなプロジェクト（本稿では新たな技術導入）によって得られる利益を指すことが圧倒的に多く、次に技術的進歩性が評価され、一定の基準を満たしたテーマが目標とともに投資会議に諮られる。

- ① 研究成果が最大2年以内にもたらす利益
- ② 最大6カ月以内に確実に得られる最低限の研究成果
- ③ 最終的に必ず得られる最低限の成果
- ④ 最大2年以内における研究成果目標の実現可否
- ⑤ 研究成果で得られる利益による投資費用回収期間
- ⑥ 最低限の成果が出ない可能性の有無
- ⑦ 設定する研究成果目標のデメリット有無
- ⑧ プロジェクト進行中の継続判断可否
- ⑨ 課題解決手法の妥当性
- ⑩ 自社エンジニアのスキルアップ可否

上記評価項目において特筆すべきは研究開発期間と、最低限得られる成果が担保されなければならない点である。つまり、一定のリスクが存在することは認識しつつも、全く何も成果が出ないことだけは避けるように評価項目が設定されている。さらに、昨今の企業を取り巻く環境の急速な変化に柔軟かつ迅速に対応できるよう、いくつかのマイルストーンを設けて継続可否を都度判断できるようにしている。また、企業側の内情としては、小さな成果でも定期的に結果を残すことで、産学連携の必要性を社内にアピールし、経営陣からの信頼を得ることで、中期的な研究投資につなげやすいという側面もある。それでも、最大研究期間2年というのは研究者にとって厳しいことには変わりはないが、毎年が常に勝負という中小企業にとっては、そうならざるをえない。

以上のように互いの様子を慎重に伺いながらプロジェクトを進めることには違和感があるかもしれない。しかしながら、各大学や大学内の研究室は、それぞれ研究の進め方、研究に対する価値観、風土が異なり、それは実際にプロジェクトを進めて初めて互いを理解することができる。さらに先にも述べたとおり大学は研究、教育を全面に掲げており、企業とは目指す先が大きく異なる。その文化、風土のギャップが埋まらないことが産学連携を失敗へと導く大きな原因となっている事例が多く、結果的に研究成果が実用化に至らないこととなる。また、企業側から大学側への過度な期待によってコミュニケーションミスが発生することもあり、企業には以上のような現状を理解し柔軟かつ迅速な判断ができる責任者、そして技術を管理する能力、いわゆるMOT (Management of Technology) の社内育成、啓蒙が重要となってきた。

3.3 大学側の役割

次に、産学連携において研究成果を提供する側となる大学側が留意すべき点は、上に述べた企業側の事情

をある程度意識したテーマ設定である。例えば理論研究が主となるテーマであったとしても、その実用化への広がりについて一部記述をわかりやすく追加したり、時には実用化とその実績に特化した特集や寄稿を行うなどの少しの工夫があれば、新たな研究シーズを探す企業側にとっても大変興味深い内容となる。特に、扱う課題の規模が比較的小さい中小企業にとって、リスクの少ない小目標の実例研究は大きなチャンスに映る。

ただし、常に実際の現場に直面しているわけではない研究者にとっては、逆に大目標よりも実用化に特化した小目標をピックアップし、研究、提案を行うことのほうが難しいかもしれない。そこで、研究者が可能な限り実際の現場に赴き、OR研究の課題を体感するとともに、企業側と表面上だけではなく本音の交流を行うことが重要となる。さらに、学生としてOR研究に携わり企業へと就職した卒業生とのコミュニケーションも大切となる。彼らはOR研究の意義と実力、さらには実社会の現場を熟知する貴重な存在で、課題やテーマ設定には有意義な意見が出る可能性も高い。そのような議論を重ねることで、規模は小さくなくともOR手法による解決法が最も適切であるというテーマを見つけ出す可能性が高まる。また、それにより企業社会との異文化交流を深めることもできるであろう。

3.4 両者の役割分担と責任範囲の明確化

最後に、企業側と大学側の協議によって、研究テーマおよび研究投資が決定した後に、役割分担について協議することが必要となる。この点で判断を誤ると物事がなかなか進まない。OHTでは産学連携プロジェクト開始時、企業側と大学側の研究分担割合は9:1程度からスタートすることが望ましいと考えている。最終的には5:5となることが理想であるが、ソフト面を主とするOR研究においては、最初に企業側の分担割合を高く設置し、意図的に過度な大学依存を避けるよう留意している。

さらに役割分担を設定した後は、その責任範囲を明確にするため、企業側がプログラム管理を行い、大学側の担当部分はあえてダイナミックリンクライブラリ(DLL)形式にするよう限定している。そうすることで、全体システムの役割分担と責任範囲の明確化が可能となり、プロジェクト全体の管理も行いやすくなる。その後、進捗度を見ながらDLLの範囲を広げていくことで、小さな課題から少しずつ大きな課題へとステップアップさせていく。短期間に着実な成果を望み、失敗リスクを嫌う企業ならではの進め方かもしれないが、プロジェクトを着実に進めることのできる手

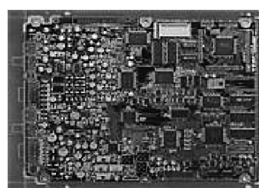


図 1 電子機器向け PCB

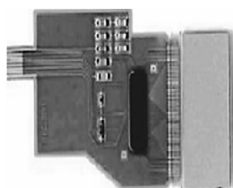


図 2 液晶向け PCB

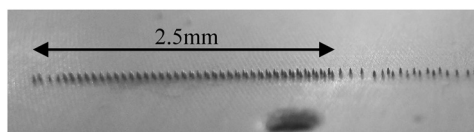


図 3 検査用コンタクトプローブ

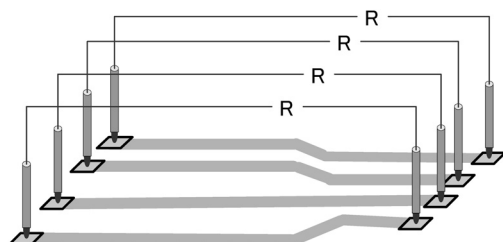


図 4 検査用コンタクトプローブ

法の一つとして参考にとされたい。

以上に述べた指針を元に実際に OR 研究の一分野である最適化研究成果を企業活動の現場に適用した二つの事例 [3, 4] を次節に示す。

4. プリント基板の電気検査における最適化研究適用事例

プリント基板（以下 PCB）は、ほとんどの家電製品や電子機器に使用されている板状の部品（図 1、図 2）であり、基板配線の検査は製造工程において重要なプロセスである。検査では、図 3 に示すようなプローブ治具と呼ばれる検査ユニットをロボットアームで適切な位置に固定し、平面上に並べられた基板表面のコンタクトパッドと呼ばれる配線の膨らんだ部分に、プローブ治具に取り付けられたピンを接触させて電流を流すことで各配線の抵抗 R を測定し配線の欠陥の有無を判定する（図 4）。

しかしながら、プローブ治具が適切な位置からずれている場合、ピンの一部がコンタクトパッドに接触せず、誤判定が生じる（図 5～図 7）。したがって、誤判定を避けるために、オペレータはプローブ治具の位置を適切に修正（位置補正）する作業を行う必要がある。

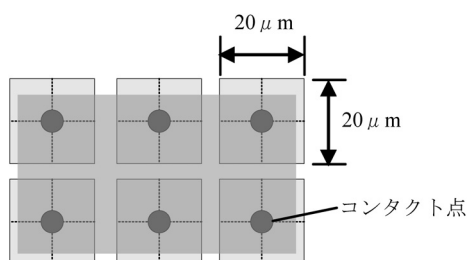


図 5 パット中心への理想的接触位置

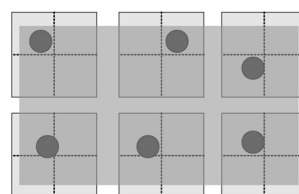


図 6 実際の接触位置（正常）

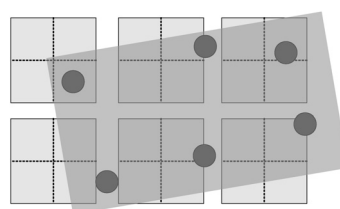


図 7 接触不良が発生する事例

しかし、近年の電子機器および内蔵基板の小型化に伴い、実際の補正量は平面距離で数十マイクロメートル、角度で 3 度未満と極めて小さくなっており、千本以上あるすべてのプローブピンをコンタクトパッド中央に正確に接触させることは困難となってきている。これまで、現場ではオペレータが顕微鏡によってコンタクトパッドの位置とピンの打痕のズレを確認し、経験と勘で補正量を決定していた。また、試行錯誤で位置ズレを徐々に修正するため、非常に長い作業時間を要していた。ときには熟練者でも 1 日以上かかることもあり、補正作業の効率化が求められていた。

そこで、オペレータがコンタクトパッドの中心とその部分に当たるべきピンの打痕のペアを少数個選択し、それらの位置座標から全ピンに最適な補正量（縦横の移動量と回転角）を非線形最適化に基づいて導出することで、作業を大幅に効率化することを考えた。つまり、千以上あるコンタクトパッド中心点と実際のコンタクト点間の誤差の最大値が最小となるような補正アルゴリズムについて、最適化研究を利用して解決するというテーマとなる。

4.1 準ニュートン法を用いたプリント基板の電気検査用プローブ位置補正手法

最初に、プローブに取り付けられた総ピン数を N , k 回目の補正までにオペレータが選択したピンとコンタクトパッドのペアの集合を S_k とする. また, i 番目のピンの打痕の座標を $p_i^k = (p_{x_i}^k, p_{y_i}^k)$, 対応するコンタクトパッドの中心座標を $t_i = (t_{x_i}^k, t_{y_i}^k)$ とする. 一般に, 座標の原点と回転軸の中心の座標は異なるため, 回転軸の中心が座標の原点となるように座標変換する. すなわち, プローブ治具を保持するロボットアームの回転軸の中心座標を $r^k = (r_x^k, r_y^k)$, k 回目の補正における回転軸の中心を原点とするピンの打痕の座標とコンタクトパッドの中心の座標をそれぞれ $p_i'^k, t_i'^k$ ($i \in S_k$) とすると,

$$\begin{aligned} p_i'^k &= (p_{x_i}^k - r_x^k, p_{y_i}^k - r_y^k) \\ t_i'^k &= (t_{x_i}^k - r_x^k, t_{y_i}^k - r_y^k) \end{aligned}$$

と計算される. ここで, “'” がついている記号は回転軸の中心を原点とする座標を表す.

次に, k 回目の補正において, 平面上で角度 $\Delta\theta^k$ 回転し, 横軸方向に Δx^k , 縦軸方向に Δy^k 平行移動させることによって得られる i 番目のピン位置の座標 $\hat{p}_i'^k = (\hat{p}_{x_i}^k, \hat{p}_{y_i}^k)$ は次式で計算できる.

$$\begin{pmatrix} \hat{p}_{x_i}^k \\ \hat{p}_{y_i}^k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \Delta\theta^k & -\sin \Delta\theta^k \\ \sin \Delta\theta^k & -\cos \Delta\theta^k \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_{x_i}'^k \\ p_{y_i}'^k \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Delta x^k \\ \Delta y^k \end{pmatrix}$$

ピンとコンタクトパッド位置には製造誤差が存在し, 位置ズレ量 (方向・距離) もそれぞれで異なるため, 実際には完全に一致させることはできない. また, 実際の検査では, シートを何枚も検査することになるが, シートごとでも僅かながら異なる.

このような状況を考慮して, ピンとコンタクトパッドの中心のズレの最大値を最小にすることを主要な目的とし, その中で可能な限り各ペアのズレの合計値も最小化する補正量を求めることを考える. 具体的にはオペレータが選択したコンタクトパッドの中心とピンの打痕のペアの集合 S_k の位置座標の情報から適切な補正量 ($\Delta x^k, \Delta y^k, \Delta z^k$) を求める問題を次の (非凸) 非線形計画問題として定式化する [3].

$$\begin{aligned} &\text{minimize} \quad \max_{i \in S_k} \|z_i^k\| + \rho \sum_{i \in S_k} \|z_i^k\| \\ &\text{subject to} \quad z_i^k = t_i^k - \hat{p}_i^k, \quad i \in S_k \end{aligned}$$

ただし, ρ は微小な正定数, $\|\cdot\|$ はユークリッドノルムを表す. この問題に準ニュートン法 [5] を用いて求



図8 装置外観



図9 プローブ治具部

解を行い, オペレータが得られた補正量に対し満足するまで繰り返し補正量を求めた. その結果, 複数の数値実験により, 1~3 回の補正回数で熟練者とはほぼ同精度で補正できることが確認された.

提案手法を実際の検査機に組み込んだところ, 従来手法では熟練者で数時間~1日半を要する作業が, 経験が未熟なオペレータでも 3~10 分程度で可能となり, 作業の大幅な効率化を実現した. この成果は, 作業時間の短縮だけではなく, オペレータの習熟度に依存しない作業の標準化も可能となり, 装置の付加価値が格段に向上した. その成果は, 特に作業者レベルにおいて大学側が想像する以上に大きなものであった.

4.2 先行順序準を考慮したプリント基板の電気検査経路の最適化

4.1 節に示したプローブ位置補正作業が完了すると, 実際に検査が行われる. 一般的に, プリント基板は図 10 に示すとおりコスト削減のため複数のプリント基板の個片が平面状に並べられたシート状で大量生産されている. 近年このシートサイズが大型化してきており, シートに対して 1 回で検査できる大型のプローブ治具を作成するとコストがかかりすぎる. そこで個片単位または複数の個片をまとめて検査できるサイズでプローブ治具を作成し, プローブ治具が 1 回で検査できる範囲ごとに分割して検査を行い, シート全体を検査する方式が自動検査機では一般的である. 例えば図 10 においては, プローブ治具が左上の個辺から U 字型に順次移動しながら 8 個辺分検査を行っていく.

しかし, 先にも述べたとおり, 近年の急速な電子機器の小型化によって, 基板の配線ピッチは非常に狭くなっており, 数ミクロン単位で適切な検査箇所へプローブ治具を移動させるのが難しくなっている. そこで検査を行う前に, 各検査個辺に存在する二つのアライメント点を撮影・認識し, 正確な検査点 (検査基準位置) を判別した後でプローブ治具を移動させ, 検査

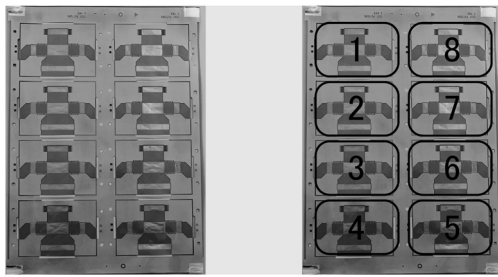


図 10 平面状に配列された多面取り基板 (2*4 面)

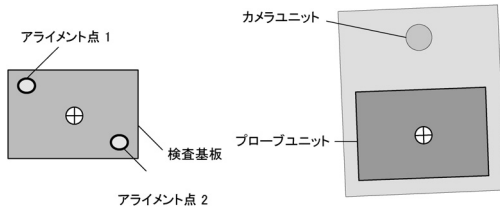


図 11 検査基板と検査ユニット

する必要がある。なお、プローブユニットとカメラは一体化した検査ユニット (図 11) となっており、共通の軸を原点とすることで、機械誤差を最小限に抑える構造となっている。

従来手法では、すべてのアライメント点をカメラで撮像後、各個辺を検査する経路が採用されていた。しかしながら、本手法では検査ユニットの移動経路に重複が発生してしまい、無駄な移動時間が必要であった。そこで、カメラが 2 点のアライメント点位置情報を取得後、検査点にプローブユニットが移動するという条件下で、最短移動経路を算出することを考えた。これは、「先行順序制約付き巡回セールスマン問題」として定式化することができる。

検査ユニットは設定された初期位置からスタートし、各基板に対するアライメント点と検査点を丁度一度ずつ通り、検査終了後に初期位置へ戻る。したがって、解決すべき課題は、前述の先行順序関係制約の下で、最短で検査を行う巡回路を求める問題とみなせる。

検査ユニットの初期位置に対応する点の番号を 0 とし、平面状に並べられた複数のプリント基板に対する番号の集合を $B = \{1, 2, \dots, l\}$ 、 p 番目 ($p \in B$) のプリント基板のアライメント点の集合を A_p 、検査点の集合を I_p とし、すべての点の集合を $N = \bigcup_{p=1}^l (A_p \cup I_p)$ とする。任意の 2 点 $i, j \in N \cup \{0\}$ の間のユークリッド距離を c_{ij} で表す。ただし、カメラとプローブ治具の基準位置は異なるため、ここでは、アライメント点に対してもプローブ治具で合わせるものとする。すな

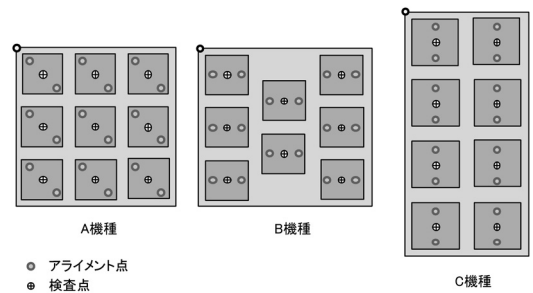


図 12 検査対象機種

表 2 提案手法の改善率

機種	個辺数	従来経路	提案手法	短縮率
A	9	100.1	75.4	25%
B	8	94.3	71.6	24%
C	8	85.7	69.1	19%

わち、アライメント点の位置座標は、各アライメント点にカメラを合わせるときのプローブ治具の基準位置座標とする。

ここで、0-1 変数 x と y を次のように定義する。

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{点 } i \text{ の直後に点 } j \text{ を訪問} \\ 0 & \text{それ以外のとき} \end{cases}$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{点 } i \text{ の直後に点 } j \text{ を訪問} \\ & (\text{必ずしも直後である必要はない}) \\ 0 & \text{それ以外のとき} \end{cases}$$

このとき、アライメントを考慮した検査の最適経路 (巡回路) を求める問題は、先行順序制約付きの巡回セールスマン問題 [6] として次のように定式化できる [4]。

$$\begin{aligned} & \text{minimize} && \sum_{i \in N \cup \{0\}} \sum_{j \in N \cup \{0\} (j \neq i)} c_{ij} x_{ij} \\ & \text{subject to} && \sum_{j \in N \cup \{0\} (j \neq i)} x_{ij} = 1, \forall i \in N \cup \{0\} \\ & && \sum_{i \in N \cup \{0\} (i \neq j)} x_{ij} = 1, \forall j \in N \cup \{0\} \\ & && y_{ij} \geq x_{ij}, \forall i, j \in N, i \neq j \\ & && y_{ij} + y_{ji} = 1, \forall i, j \in N, i \neq j \\ & && y_{ij} + y_{jk} + y_{ki} \leq 2, \\ & && \quad \forall i, j, k \in N, i \neq j \neq k \\ & && y_{ij} = 1, \forall i \in A_p, \forall j \in I_p, \\ & && p \in B \\ & && x_{ij} \in \{0, 1\}, \forall i, j \in N \cup \{0\}, i \neq j \\ & && y_{ij} \geq 0, \forall i, j \in N, i \neq j \end{aligned}$$

定式化された問題は混合 0-1 計画問題であり、数値計画ソルバーなどを使って解くことができる。その結果、図 12 に示すようなタイプの基板で表 2 に示すとおり改善を得ることができた。本成果は経路を変更することで検査速度の向上につながるため、装置にとっては改造リスクなく検査の高速化という成果を得たこととなる。

今後は、より高速に解くためのモデル化の検討 [7] や基板数が増加した場合に対する近似解法の提案 [8]、アライメント点を撮像するカメラを 2 個（またはそれ以上）に増やした場合の厳密解法および最適なカメラ位置の検討についても進めることで、より効率的な検査経路システムを開発していく予定である。

5. まとめと今後の学会への期待

本稿では OR 研究における産学連携に焦点を当て、その現状と課題について述べるとともに、中小企業における研究成果の取組みについて実例を紹介した。本論で紹介した 2 件の適用事例は、それぞれ研究開始から最初の実用化まで約半年程度であり、中小企業が必要とする時間軸を十分に満たすものであった。広島大学片桐准教授によれば、今後、OR の手法をさらに活用すればもっと大きな成果が期待できるとのことである。しかし、本研究は現時点の段階においても、従来の装置にはなかった最適化という概念を初めて一部の機能に取り込むことができている、大学側では初期成果であっても産業界では大きな成果として受け入れられることを示した大きな一歩となった。この結果から、多くの小さな成果、少しの大きな成果などが集まり、実用化事例のピラミッド構造が創り上げられると、研究の裾野も広がり、学会がより活発な議論が繰り広げられる場となるのではないかと感じる。それだけのポテンシャルが OR 研究にはあると確信している。

国立大学法人法 第 22 条には大学の使命として、教育、研究に加え、研究成果の社会還元が位置づけられており、研究成果を提供する大学側、そしてそれを受け取る企業側いずれもその成果の共有、実用化は責務である。その点を考慮すれば、学会は大学、研究機関、大手企業、中小企業、ベンチャー企業など社会を構成するメンバーがバランスよく参加し、それぞれの立場と目線で競い合いながら研究の意義を考えていく環境づくりも必要である。また、例えば査読に研究の新規性、

有効性などとともに実例研究成果の基準も設け、総合的な評価を取り入れることで、研究の規模にかかわらず、よりユニークでオリジナリティーの高い成果へとつながる可能性もあり、今後の議論を期待したい。

最後に、研究を通じた社会貢献とは、社会がより豊かなことを意味する。その際は、自然な形で感謝の言葉を聴くことができるであろう。研究者、技術者のモチベーションはまさにここにあると常を感じる。これは産学連携を通じて実社会と対峙し、工夫を重ねることで得られる大きな対価であり、何事にも変えることができない大きな名誉となる。その喜びを OR 研究に携わるすべての研究者と共有することができれば幸いである。

謝辞 本研究を遂行するにあたり理論解析、プログラム製作、数値実験等に多大なるご協力をいただいた広島大学大学院工学研究院・片桐英樹准教授、また研究室の学生の方々、さらにはソフトウェアおよびそのほか評価にご協力をいただきましたオー・エイチ・ティー株式会社の方々に感謝いたします。

参考文献

- [1] 羽森寛, 坂和正敏, 片桐英樹, 松井猛, “フラットパネル製造工程におけるデュアルチャネルシステムに基づく高速非接触検査手法,” エレクトロニクス実装学会誌, **13**, 562–568, 2010.
- [2] 高橋信之, 坂本直宏, “地域ファンドによる中小企業支援の取組み,” 日本バイアウト市場年鑑, 67–78, 2013.
- [3] 片桐英樹, 森澤雅志, 羽森寛, 加藤浩介, “非線形最適化に基づくプリント基板検査用プローブ治具の位置補正,” OR 学会春季研究発表会, 36–37, 2014.
- [4] 片桐英樹, 呉宏偉, 羽森寛, 加藤浩介, “プリント基板の電気検査におけるアライメントを考慮した検査経路最適化,” OR 学会春季研究発表会, 38–39, 2014.
- [5] 茨木俊秀, 福島雅夫, 最適化の手法, 共立出版, 1993.
- [6] S. C. Sarin, H. D. Sherali and A. Bhootra, “New tighter polynomial length formulations for the asymmetric traveling salesman problem with and without precedence constraints,” *Operations Research Letters*, **33**, 62–70, 2005.
- [7] H. D. Sherali, S. C. Sarin and P.-F. Tsai, “A class of lifted path and flow-based formulation for the asymmetric traveling salesman problem with and without precedence constraints,” *Discrete Optimization*, **3**, 20–32, 2006.
- [8] J. Renaud, F. Boctor and G. Laporte, “Perturbation heuristics for the pickup and delivery traveling salesman problem,” *Computers & Operations Research*, **29**, 1129–1141, 2002.