

IPS(発明的問題解決)プロジェクトのケース・スタディー 「アナログ IC の生産性／信頼性の改善」

■プロジェクトの概要

1. プロジェクト名

IC の大量高速テスト装置の生産性と信頼性の向上

2. 背景状況

米国の XYZ 社（仮名）は電子製品を製造する企業である。1997 年、同社は、新しい高感度アナログ IC の自動テストを可能にするテスト装置の開発に着手した。成功すれば、競合他社から新規顧客を奪うことができ、年間約 1 千万ドルの収益増が見込まれた。

IC テスト装置の開発を専門とする ABC 社（仮名）と共同で 5 ヶ月間の開発プロジェクトを実施した。その結果、新しいテスト装置ができラインに設置された。この開発に投入した費用は約 7 万 6 千ドルであった。

しかし、設計変更を 5 回もしたにもかかわらず、2 つの致命的な問題が未だ解決できていなかった。

第 1 の問題はジャミングの発生率が高すぎたことであった。ジャミングとは、テストの終わった IC がテスト装置から外れなくなってしまうことである。

第 2 の問題は接続不良の発生率が高すぎたことであった。接触不良とは、IC をテスト装置にセットしても両者が正しく接続されないことである。

この問題を解決しない限り、テスト装置は使い物にならず、毎年約 1 千万ドルの収益増を失うことになる。さらに、競合他社が先に開発に成功すれば、自社の既存顧客を競合他社に奪われ、より大きな損失がでるおそれがある。

この 2 つの問題を早期に解決するべく、XYZ 社は、米国アイディエーション・インターナショナル社（以下、II 社という）の支援を受け、I-TRIZ の発明的問題解決法（IPS : Inventive Problem Solving）を用いた問題解決プロジェクトを実施することとした。

3. IPS(発明的問題解決)プロジェクトの実施

このプロジェクトには、テスト装置開発部門の 7 人の技術者が参加した。

当時、XYZ 社内には創造性や発明能力や革新能力を鍛える正式な訓練がなかった。そのため、7 の技術者たちは、まず、数日間にわたり、II 社のコンサルタントたちから、I-TRIZ の IPS 手法の理論とテクニックのトレーニングを受け、

IPS 支援ソフトウェアである IWB (Innovation WorkBench : イノベーション・ワークベンチ) の使用法も学んだ。

その後、技術者たちは、IWB を使って (II 社のアドバイスをある程度受けつつも) 多くは自分たちの力だけでこのプロジェクトを進めていった。

その手順は、以下の通りであった (これは IPS の標準的手順である)。

- ① 問題の情報把握
- ② 問題の因果関係分析
- ③ 解決指針の導出とアイデア発想
- ④ 解決策の生成と評価

その結果、2 つの問題を同時に解決できる解決策コンセプトが考え出された。そのコンセプトは、関係者全員が革新的かつエレガントと評価した。

この IPS プロジェクトの終了後、技術者たちは、そのコンセプトを具体的な製品に展開するための開発作業に進んでいった。

■プロジェクトの詳細

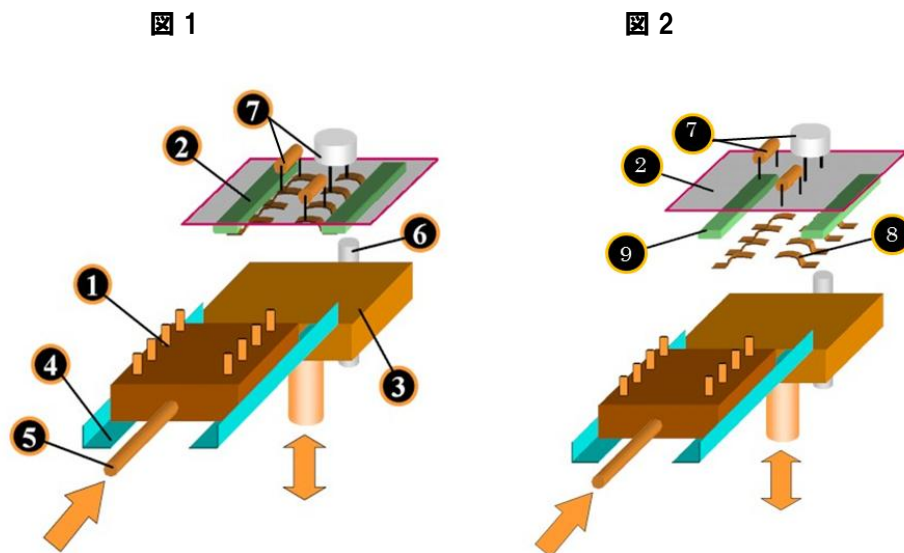
ステップ 1:問題の情報把握

1. テスト装置の概要

そのテスト装置は、図 1、図 2 に示すように、“フィンガー” とよばれるベリリウム銅の非常に小さい電気端子 (8) の配列を備える。各フィンガー (8) は、バネとして機能する形状に成形され、その背面を繊維質の弾性シート (9) で支持される。これらの部品はすべて、プリント回路基板 (2) 上に搭載される。

テストされる IC (1) が、ガイドレール (4) に沿って送り込まれ、プランジャー (3) の上に置かれる。プランジャー (3) が IC (1) を押し上げ、IC (1) のリードをテスト装置のフィンガー (8) に押し付ける。この状態でテスト装置が IC の電氣的テストを行う。

テスト装置の電子部品 (7) は、フィンガー (8) に非常に近接して配置される。図には明示されていないが、一部のフィンガー (8) では、ケルビン接続 (高精度の測定を可能にするため、電流を流す 2 端子と、電圧検出用の 2 端子を別に設けた 4 端子構造) を構成するために、同じフィンガー (8) 上に、電流用の接点と電圧検出用の接点が別々に存在する。



1 - アナログ IC	6 - ストップピン
2 - プリント回路基板	7 - 電子部品
3 - プランジャー	8 - バネ性の接触フィンガー
4 - IC送給ガイドレール	9 - 繊維質の弾性シート
5 - IC送給アーム	

テスト装置の動作の流れは次の通りである：

- ① IC をガイドレール上に置く。
- ② IC 送給アームが IC をプランジャーへ送る。
- ③ IC がストップ・ピンに当たる。
- ④ プランジャーが IC を接触フィンガーに押しつける。
- ⑤ IC を電氣的にテストする。
- ⑥ プランジャーが元の位置へ戻る。
- ⑦ ストップ・ピンが下がる。
- ⑧ IC をテスト結果に応じて仕分ける。

2. テスト装置が抱える問題

前述したように、このテスト装置は次の 2 つの問題を抱えていた。

① IC のジャミング

テストが終わってプランジャーが後退しても、IC が自動的に外れないことがある。これにより、自動工程が中断する。

② IC との接続不良

プランジャーが IC をテスト装置に押し付けたとき、一部のフィンガーが IC のリードに電気接続しないことがある。これにより、正常な IC が不良品と誤判定されてしまう。

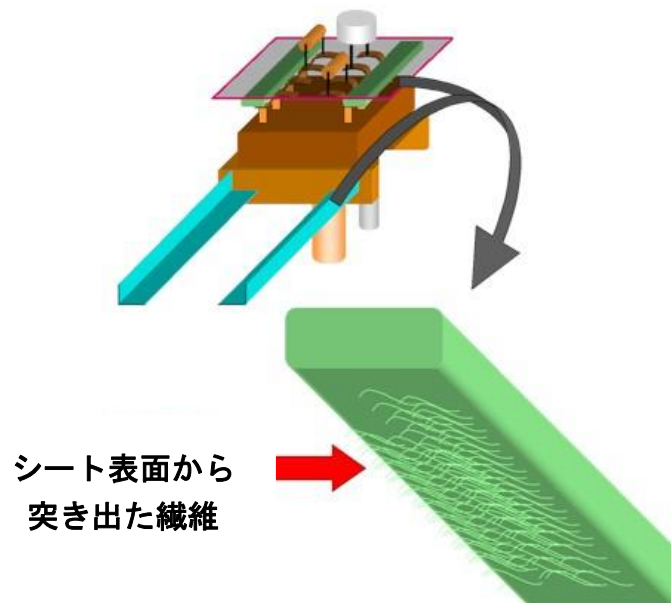
3. 問題の原因

① ジャミングの原因

原因はフィンガーと弾性シートにあった。

図 3 に示すように、弾性シートは繊維質の材料からできている。数多くの IC をテストしているうちに、シートの表面がフィンガーと擦れて繊維がほつれてくる。突き出た繊維が IC のリードに引っ掛かり、リードをフィンガーから自動的に（つまり、重力だけで）分離することを妨げてしまう。

図 3



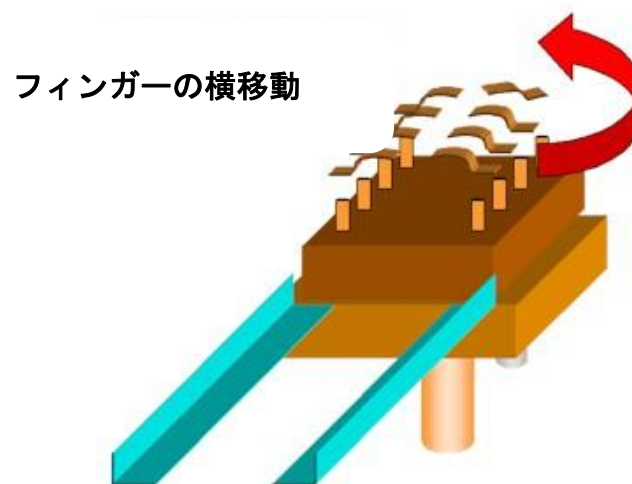
② 接続不良の原因

図 4 に示すように、接触を繰り返しているうちに、一部のフィンガーが横方向に移動、回転することが観察された。

それにより、IC のリードと正しく接触できなくなってしまう。

しかし、フィンガーの横移動の原因は未だ不明であった。

図 4



ステップ 2:問題の因果関係分析

1. フィンガーの横移動の発生メカニズムの解明

まず、今まで不明であったフィンガーの横移動の発生メカニズムの解明作業が行われた。

それには、I-TRIZの先行的不具合対処法（Anticipatory Failure Determination: AFD）が用いられた。

その結果、ICが押し付けられたときのフィンガーに加わる力のアンバランスが直接の原因であることが判明した。そして、力のアンバランスは、フィンガー構造の複雑さに起因する。

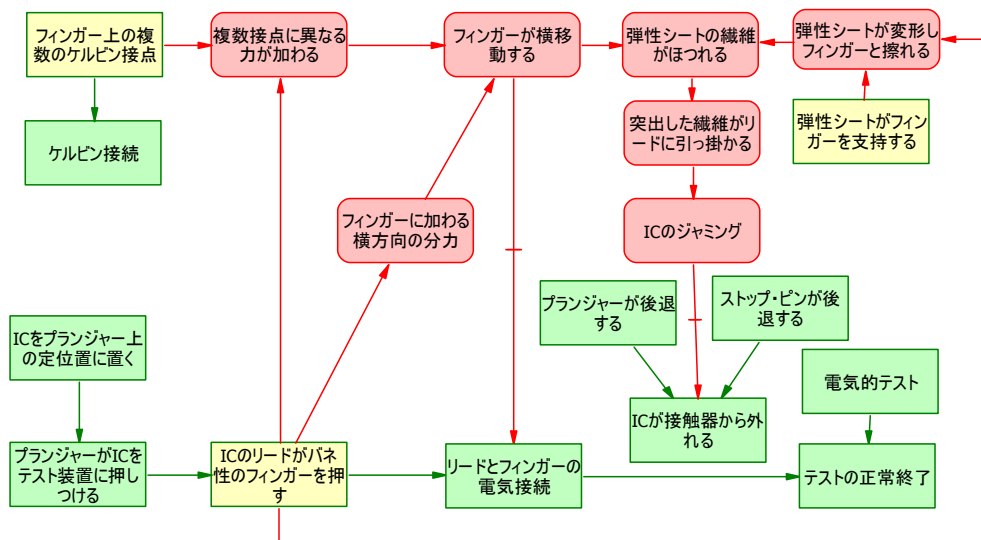
ICのリードがフィンガーに接する個所は、フィンガーの全体領域ではなく、バネ弾性で動く一部分である。一部分にだけ押す力が加わると、フィンガーの立体形状に依存して、横方向に分力が生じる。これにより、フィンガーが横方向に移動する。

さらに、一部のフィンガーは、同じフィンガー上にケルビン接続用の複数の接点をもつ。ICから押されたとき、その複数の接点に異なる力が加わって、回転モーメントが生まれ、フィンガーを横方向に移動、回転させる。

2. 因果関係ダイアグラムの作成

以上に基づき、問題の因果関係を明確化した。その結果を図5に示す。

図 5



ステップ 3: 解決指針の導出とアイデア発想

1. 優先検討領域の選定

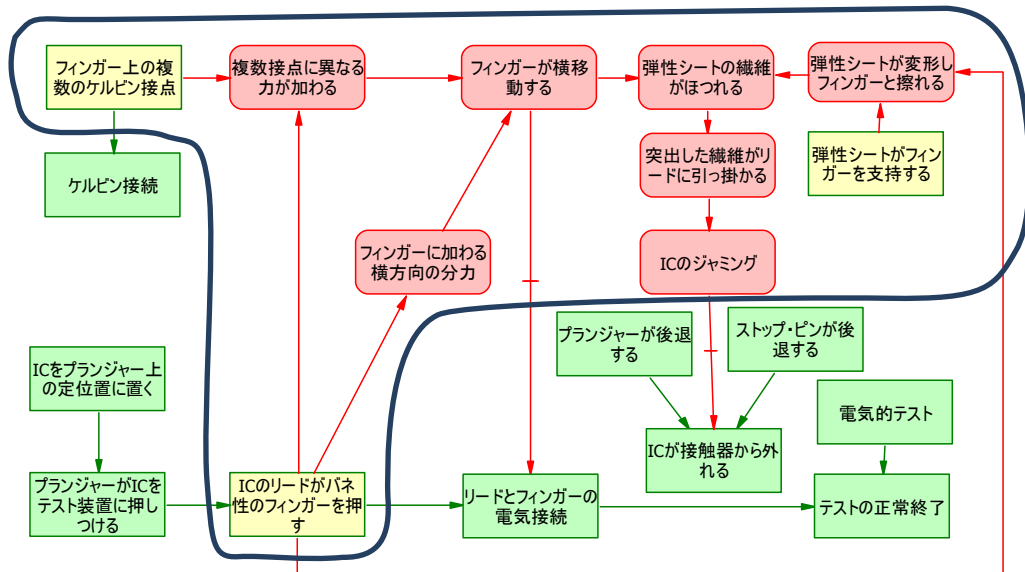
次に、図 5 の因果関係ダイアグラム中から、優先的に検討すべき領域を選択した（図 6 で線で囲った部分）。そこには、有害機能（赤色ボックス）と、その原因となっている矛盾機能（黄色ボックス）が含まれている。

ここで「矛盾」とは、本来は有益機能（緑色ボックス）であるが同時に有害機能（赤色ボックス）も引き起こしている（又はその逆の）状態を指す。

一般に、革新的な解決策は矛盾の解決から生まれることが多く、また、実現が容易でコストも低い解決策は有害機能を排除、抑制することから生まれることが多い。

ゆえに、有害機能と矛盾機能を優先的に検討することとした。

図 6



2. 問題解決の指針の導出

次に、優先検討領域から、問題解決の指針を導出した。

ここで「問題解決の指針」とは、問題を解決するためにどの部分をどう変えるべきかという方向性である。ダイアグラム中の各ブロックに IPS 理論に基づく一定のロジックを適用することで、指針を導くことができる。

導出された指針は以下のとおりであった（以下の指針は IWB ソフトウェアがダイアグラムに基づいて自動的に導出したものである）。

- ① ICのリードがバネ性のフィンガーを押すを得る他の手段を探してください。その手段は、リードとフィンガーの電気接続を引き起こすか強化する。その手段は、複数接点に異なる力が加わる、フィンガーに加わる横方向の分力と弾性シートが変形しフィンガーと擦れるを引き起こさない。その手段は、プランジャーがICをテスト装置に押しつけるを必要としない。
- ② 次の矛盾を解決してください:ICのリードがバネ性のフィンガーを押すは有益であり存在しなくてはならない。また、リードとフィンガーの電気接続を引き起こす／強化するために、必要である。 かつ、複数接点に異なる力が加わる、フィンガーに加わる横方向の分力と弾性シートが変形しフィンガーと擦れる という有害な作用・影響・結果を避けるためには、存在してはならない。
- ③ 弾性シートがフィンガーを支持するを得る他の手段を探してください。その手段は、弾性シートが変形しフィンガーと擦れるを引き起こさない。
- ④ 次の矛盾を解決してください:弾性シートがフィンガーを支持するは有益であり存在しなくてはならない。 かつ、弾性シートが変形しフィンガーと擦れる という有害な作用・影響・結果を避けるためには、存在してはならない。
- ⑤ 弾性シートが変形しフィンガーと擦れるを排除・軽減・防止する手段を探してください。それによって弾性シートの繊維がほつれるを排除・軽減・防止する。その手段は弾性シートがフィンガーを支持すると ICのリードがバネ性のフィンガーを押すがあっても影響を受けない。
- ⑥ フィンガー上の複数のケルビン接点を得る他の手段を探してください。その手段は、ケルビン接続を引き起こすか強化する。その手段は、複数接点に異なる力が加わるを引き起こさない。
- ⑦ 次の矛盾を解決してください:フィンガー上の複数のケルビン接点は有益であり存在しなくてはならない。また、ケルビン接続を引き起こす／強化するために、必要である。 かつ、複数接点に異なる力が加わる という有害な作用・影響・結果を避けるためには、存在してはならない。
- ⑧ 接点に異なる力が加わるを排除・軽減・防止する手段を探してください。それによってフィンガーが横移動するを排除・軽減・防止する。その手段はフィンガー上の複数のケルビン接点と ICのリードがバネ性のフィンガーを押すがあっても

影響を受けない。

- ⑨ **フィンガーに加わる横方向の分力を排除・軽減・防止する手段を探してください。** それによって**フィンガーが横移動する**を排除・軽減・防止する。その手段は**ICのリードがバネ性のフィンガーを押す**があっても影響を受けない。
- ⑩ **フィンガーが横移動する**を排除・軽減・防止する手段を探してください。それによって**弾性シートの繊維がほつれる**を排除・軽減・防止する。その手段は**複数接点に異なる力が加わる**と **フィンガーに加わる横方向の分力**があっても影響を受けない。
- ⑪ **弾性シートの繊維がほつれる**を排除・軽減・防止する手段を探してください。それによって**突出した繊維がリードに引っ掛かる**を排除・軽減・防止する。その手段は**フィンガーが横移動する**と **弾性シートが変形しフィンガーと擦れる**があっても影響を受けない。
- ⑫ **突出した繊維がリードに引っ掛かる**を排除・軽減・防止する手段を探してください。それによって**ICのジャミング**を排除・軽減・防止する。その手段は**弾性シートの繊維がほつれる**があっても影響を受けない。
- ⑬ **ICのジャミング**を排除・軽減・防止する手段を探してください。その手段は**突出した繊維がリードに引っ掛かる**があっても影響を受けない。

3. アイデア発想

次に、それぞれの指針に沿って、問題解決のためのアイデアを発想した。

今までの分析の結果から、テスト装置が向かうべき大きな方向性が明らかになっていた。それは、構造を「理想」に近づける、つまり、より簡素で低コストの構造に変えることであった。前掲のダイヤグラムから分かるように、問題の原因は要するにフィンガーと弾性シートの構造の複雑さにあったからである。

したがって、アイデア発想では、フィンガーと弾性シートに関わる部分の構造の理想化（簡素化）が意識された。

アイデアを豊富化するために、また、アイデアが出ない時のカンフル剤として、IWB ソフトウェアが提供する様々なオペレータが活用された。


(1) IC のジャミングの問題に対するアイデア発想

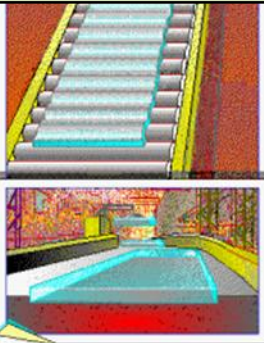
この問題を克服するために多くのアイデアが提案された。例えば、次の指針：

- ⑬ ICのジャミングを排除・軽減・防止する手段を探してください。その手段は**突出した繊維がリードに引っ掛かるがあっても影響を受けない。**

から発想された一つのアイデアは、IC を取り外すために、空気の吹き出しを使用するというものであった。だが、追加のハードウェアと制御デバイスの開発が必要であるというハードル高い二次的問題を抱えていた。

代替案として、バネで IC を押し出すというアイデアが提案された。しかし、新たなバネの追加が構造を一層複雑化させる懸念があった。そこで、次の「理想化」のオペレータなどを参照しつつ、構造を簡素化するため改良案を発想していった。

オペレータ：理想化（合理化）	
<p>理想化とは、理想的なシステムすなわち実在しなくても必要な機能を実行できるシステムを目指すプロセスです。システムを理想に近づけるには、以下の推奨事項（オペレータ）を参照してください：</p> <p><u>重複要素の排除</u></p> <p>✓<u>統合性の高い下位システムの使用</u></p> <p><u>補助機能の排除</u></p> <p><u>セルフサービス</u></p> <p><u>要素の排除</u></p> <p><u>独立した下位システムを統合</u></p> <p>✓<u>単純な装置に交換</u> → (次ページ)</p>	
↓	
オペレータ：統合性の高い下位システムの使用	
<p>統合性のより高い下位システムや要素を使用して、システムを再設計、または再構築することを検討してください。製造や保守費を大幅に軽減できる場合がよくあります。</p>	
事例：一体型の自動車エンジン	
	<p>自動車エンジンは多くの部品から組み立てられており、部品はゆるんだり、漏れたりして、修理が必要になります。</p>
<p>ボルトとガスケットを溶接した一体型の部品に置きかえれば、エンジンはより単純になり、安価に作ることができ、信頼性も増します。もちろん、この一体型のエンジンが故障すると、エンジンそのものを取り替える必要があります。</p>	

オペレータ：単純な装置に交換	
複雑な装置を同様な物理効果を適用した単純な装置に置換することを検討してください。また、下位システム、または物全体を”理想的な”な物質に置換することも検討してください。	
事例：高温の柔らかい板ガラスの搬送	
	<p>高温の柔らかい板ガラス（厚板ガラスの製造に使われるもの）は、コンベア上を搬送するとき、ローラ間でたわむ傾向にあります。</p> <p>高温の板ガラスを平たい状態で搬送するために、板ガラスを溶融せずの上に浮かせます。</p>

これらのオペレータから、可能な限り単純な構成で押し出し機能を得るための複数の改良アイデアが生まれた。それらのアイデアは、最終的に、バネ機能をもつ弾性ポリマーのドット（ブロック状突起）を、プリント回路基板の中央部に配置する、というアイデアに進化した。その弾性ドットは、プランジャーが後退する時に、ICパッケージの中央部を押して、ICを強制的に脱離させる。

これは、ICのジャミングの問題に対する実現可能でエレガントな解決策であると、技術者全員が評価した。

(2)フィンガーの横移動(接続不良)の問題に対するアイデア発想

この問題に対しても多くのアイデアが出された。例えば、次の指針：

- ① **ICのリードがバネ性のフィンガーを押し**を得る他の手段を探してください。その手段は、**リードとフィンガーの電気接続**を引き起こすか強化する。その手段は、**複数接点に異なる力が加わる**、**フィンガーに加わる横方向の分力**と**弾性シートが変形しフィンガーと擦れる**を引き起こさない。その手段は、**プランジャーがICをテスト装置に押しつける**を必要としない。
- ③ **弾性シートがフィンガーを支持する**を得る他の手段を探してください。その手段は、**弾性シートが変形しフィンガーと擦れる**を引き起こさない。

に基づいて、上述した「理想化」の考え方に従って発想された一つのアイデアは、フィンガーと弾性シートという構造から脱却し、より直接的な構造を採用するというものであった。

具体的には、フィンガーと弾性シートの代わりに、導電性の弾性ボールをプリント回路基板に直接取り付ける。ボールは、ICのリードと直接接触して回路基板への低抵抗の電気経路を提供する。さらに、上述した基板中央を押圧する弾性ドットと協働して、テスト終了後にICを押し出す役割ももつ。

このアイデアに対して、ケルビン接続の複数接点を弾性ボールでどのように実現するかという新たな問題が指摘された。そこで、次の指針：

- ① **フィンガー上の複数のケルビン接点を得る他の手段を探してください。その手段は、ケルビン接続を引き起こすか強化する。その手段は、複数接点に異なる力が加わるを引き起こさない。**

が検討された。その結果、いくつかの改良アイデアが追加された。その中の一つは、次の「分割」オペレータに基づいたもので、導電性弾性ボールを2等分し、その間に絶縁層を入れて挟むことで、ボールをケルビン接点（電流用と電圧検出用接点のペア）として使用するというものであった。

オペレータ：分割

技術システムは進化の過程において、様々な分割によって改良されていく傾向があります。システムを分割するには、以下の推奨事項(オペレータ)を参照してください。

物体を取外し可能にする(モジュール化)

✓ 単純形状に分割

粉砕

分割による結合の緩和

分割後の統合

オペレータ：単純形状に分割

単純な幾何要素(層、繊維、ボールなど)に対象物を分割することを検討してください。分割によって生じる部品間の相互作用を実現できないかも検討してください。

事例：モータの鉄心を多層にして無駄を軽減

初期の電気モータの性能は悪く、コイルの鉄芯に渦電流が生じ、鉄芯を加熱して、エネルギーが無駄になっていました。

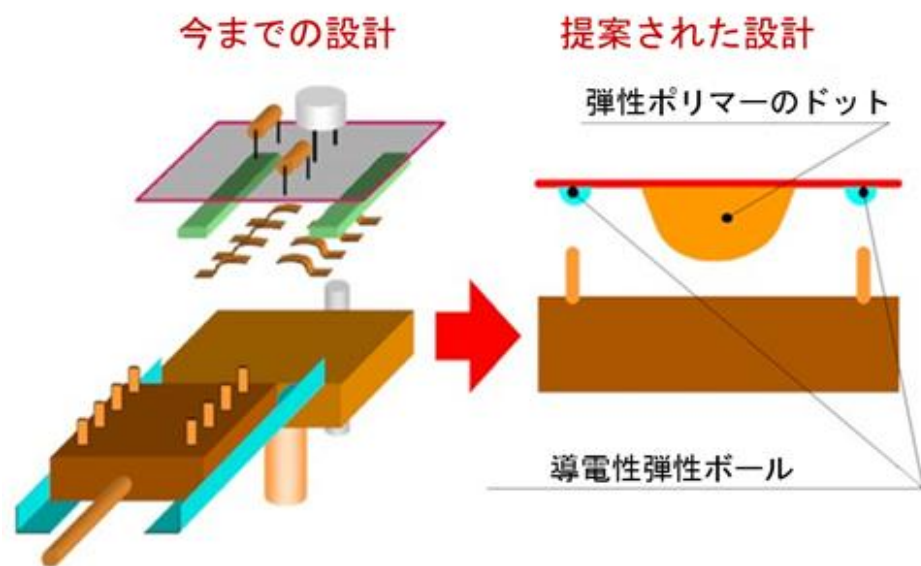
トーマス・エジソンが提案した解決方法が今でも活用されています。現在では、コイルの芯は鋼板を多数重ねてつくられています。鋼板はラッカーでコーティングされ、鋼板間に渦電流が流れるのを防いでいます。

ステップ 4: 解決策の生成と評価

1. 解決策の生成

次に、発想されたアイデアを組み合わせることで、複数の解決策コンセプトが生成された。その中で、最も評価の高かったものは、上述した2つのアイデア、すなわち、回路基板上に直接設けた弾性ドットと導電性弾性ボールの間を組み合わせ、以下のようなものであった。

図 7



- 従来のフィンガーと弾性シートを、プリント回路基板上に直接取り付けた導電性の弾性ボールを置き換える。ボールは、基板に接着しており、かつ、ICから中心軸に沿って垂直に押されるので、横方向に位置ずれしない。
- ケルビン接続が必要な個所では、導電性弾性ボールは、絶縁層を中間に挟んで結合した2つの半球で構成する。2つの半球がケルビン接点として機能し、幾何学的に対称なので、両者がICから受ける力は相互にバランスし、横方向の回転モーメントを生じない。
- プリント回路基板上のICパッケージの中央に当たる所に、弾性ポリマー（例えば、RTVゴム）のドットを設ける。このドットが、テスト終了後にICを押し出す。

2. 解決策の評価

上述したコンセプトは、プロジェクトに参加した技術者全員によって、既存のテスト装置が抱える問題に対する革新的かつ実現可能な解決策であると評価された。

それだけでなく、このようなコンセプトを短期間で得たことは、開発プロジェクトそれ自体が抱える問題を改善できるであろうと判断された。

すなわち、技術者たちは次のように述べた。

- もしこのプロジェクトを行わず、従前のやり方で問題に取り組んでいたならば、既存の設計に対する小改良の検討に終始し、いまだに決め手となる解決策が見つからない状況が続いていたに違いない。
- I-TRIZ を使用したセッションで得られたアイデアによって、より理想的で革新的なソリューションを短期間に生むことができた。
- 特に、複雑な状況を『指針』という狭く具体的な問題に分解し、一つ一つの指針に着目してアイデアを発想することで、スムーズに多くのアイデアを考え出すことができた。
- オペレータを利用することで、今までの自分には思いもつかなかった観点から、新しいアイデアを発想することができた。
- 満足な結果が出なかった最初の開発プロジェクトの投資金額と期間と比較して、I-TRIZ 問題解決プロセスは、生産性が高く、市場投入までの期間を大幅に減少できると思う。

3. 潜在的な不具合の予測と解決

IPS プロジェクト終了後、技術者たちは、上記解決策コンセプトを実用化するためのより具体的な作業に進むことになった。

とりわけ、新しく採用する構成要素に、新たな二次的不具合が潜んでいる可能性が想定された。例えば：

- 弾性ボールの機械的耐久性、電気特性、バネ性などの特性
- 特に、2分割した弾性ボールの特性
- 弾性ドットの特性
- 弾性ボールやドットの精密加工
- コスト・アップ

などに関連する問題である。

技術者たちは、これらの点についての潜在的問題を具体的に特定し解決して、現実的な設計解を導くフェーズへ進んでいった。

以上