

技術紹介

1

基板対基板コネクタの嵌合操作性向上の取り組み

A study on the usability of a series of Board-to-Board connectors

香川 加奈	Kana Kagawa	商品開発センター 主任
西村 貴行	Takayuki Nishimura	コネクタ事業部 技術一部 主任
帯金 宏明	Hiroaki Obikane	コネクタ事業部 技術一部 技術マネージャー
野澤 弘靖	Hiroyasu Nozawa	プロダクトマーケティング本部 マネージャー

キーワード：基板対基板コネクタ、小型/低背、ユーザビリティ、作業性

Keywords: Board-to-Board connectors, small-size and low-profile, usability, operability

要 旨

さまざまなモノがインターネットを通じてつながり新しい価値や体験を生み出していくIoT(Internet of Things)の広がりによって私たちの生活に身近な時計などのウェアラブルなものから、車、居住空間などに至るあらゆるモノの電子化・スマート化が進んでいます。そのため、これら機器内で電気的な接続を担うコネクタは、各々の使用環境や利用目的に適合し、また、利用者の行動や生活に馴染むデザインを可能とするように、機能、信頼性に加えて軽量化や省スペース化が要求されるようになりました。この流れにともない人の手を介して取り扱われることの多いコネクタには、小さくとも安全・確実に効率の良い接続作業を可能とする使いやすさ(ユーザビリティ)も求められ始めています。

このような背景の下、当社ではコネクタの作業品質を高める要素としてユーザビリティに着目し、使い手視点に立った付加価値の高いものづくりに取り組みを進めてきました。

本稿では、スマートフォンをはじめとする小型携帯機器の内部実装に用いられる基板対基板コネクタを対象に実施した嵌合操作性向上に関する取り組みを紹介します。

SUMMARY

Various products, including watches, cars and houses, are getting computerization by the progression of information technology such as the Internet of Things (IoT), so an electrical connector installed in these products is requested miniaturization for keeping design flexibility of them. Then a connector should be designed in consideration of the usability in their usage situation and installation environment in addition to reliability and good retention, since that is usually handling by manual connection.

Therefore, we started to research on usability of connectors by using human centered design process.

In this paper, we report a case study of a Board-to-Board connector for a smartphone and discuss the design point of improving usability for this connector.

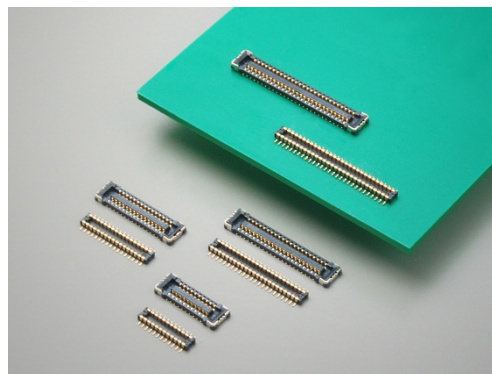


図 1. 基板対基板コネクタ

1. まえがき

さまざまなモノがインターネットを通じてつながり新しい価値や体験を生み出していく IoT (Internet of Things) の広がりによって、情報家電などのデジタル機器だけでなく私たちの生活に身近な時計などのウェアラブルなものから車、居住空間に至るあらゆるモノが電子化・スマート化され始めています。その動きは製造設備のネットワーク化など産業分野にも及んでおり、多様な場面で人と機器、システムとの連携が進んでいます。そのため、これら機器内や機器間で電氣的な接続を担うコネクタは、各々の使用環境や利用目的に適合し、また、人の行動や生活に馴染むデザインを可能とするように、機能、信頼性などに加えて軽量化や省スペース化が要求されるようになりました。この流れにともない、人の手を介して取り扱われることが多いコネクタには、小さくとも安全・確実で効率の良い接続作業ができること、すなわち、ユーザビリティへの配慮も求められ始めています。

ユーザビリティとは ISO 9241-11 において「ある製品が、特定のユーザーによって、特定の利用状況のもとで、指定された目的を達成するために用いられる際の有効さ、効率、および満足度の度合い」と定義されています。¹⁾ これは、ユーザーが対象となる製品を利用する際に正確に用いることができるか、要する時間はどのくらいか、および不快さなく肯定的に受けとめられるかという 3 つの観点からユーザビリティが評価できることを説明しています。したがって、使い手にとって価値ある製品を提供するにはこれらの指標を目安とした製品開発が重要となります。

ここで、コネクタの接続作業について考えると、プラグとレセプタクルという 2 部品間の嵌め合わせが主要な工程となっていることから、物体のハンドリングと同時に位置・角度の調整や適切な操作力の発揮といった複数の動作を実行する必要があることがわかります。

当社ではこのようなコネクタの特徴を踏まえ、人間工学および感性工学にもとづくユーザビリティの評価・解析手法を構築しその改善や向上に関する取り組みを進めてきました。

本稿ではスマートフォンやタブレット端末等の小型携帯機器向けの内部実装用途であり、小型低背化の著しい基板対基板コネクタを対象とした嵌合操作性向上に関する事例を紹介致します。

2. 基板対基板コネクタ

スマートフォン等の小型携帯機器に用いられる基板対基板コネクタは、平行平板型構造を有した内部実装用部品であり、主に機器内部のリジッド基板とフレキシブルプリント基板（FPC）の接続に利用されます（図 2）。このコネクタは搭載される機器の小型軽量化や多機能化にともない省スペース化に対する要求が非常に強く、接続信頼性に加えて操作性に対する配慮も求められています。^{2, 3)}

この基板対基板コネクタの接続は、①プラグ側である FPC を把持する工程、②FPC をリジッド基板に実装されたレセプタクルに向けて移動させる工程、③基板同士を平行にして双方の端子を正確に位置合わせする工程、そして④FPC 側から垂直に押し込むという工程を経て実行されますが、人の手によってこのような接続作業を実施した場合、小さく薄い柔軟物体である FPC を把持して操りながらの作業である上に、上面に位置する FPC に視野を遮られることにより端子位置や嵌合状態の目視確認が困難であるという平行平板型構造に特有の制約があります。したがって、作業環境や利用状況の正確な把握にもとづいた嵌合操作に関わる課題抽出とその改善に取り組むことが作業性の低下や誤嵌合による破損等を防止し、確実に快適な接続操作を実現する上で重要となります。

コネクタの嵌合作業性については、車載分野における人間工学にもとづいた操作力や把持部形状などに関するクライテリア⁴⁾や調査結果⁵⁾が報告されています。また、I/Oコネクタにおける作業姿勢、身体特性の解析などの研究事例^{6, 7)}もあり、労働安全や身体機能の観点から検討が進められていますが、基板対基板コネクタは前述のとおり把持部が薄い柔軟物体であること、かつ視認性に制限があることから、作業負荷の低減だけではなく操作状況に応じた視覚によらない感触や反発力等の感覚呈示が期待されます。柔軟物体の挿入作業については作業様式や熟練度の違いに着目した人間の技能解析に関する研究^{8, 9)}がありますが、視覚に頼れない状況下における操作性や作業感覚については詳細な検討はなされていません。

そこで、本研究では基板対基板コネクタの操作性向上を目的として、嵌合操作時の操作印象や作業感覚に着目した印象評価を実施し、嵌合操作に関する印象構造の把握と抽出された印象因子に寄与する設計要素に関する検証を行いました。

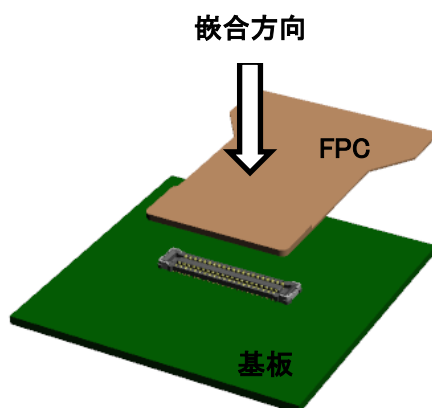


図 2. 基板対基板コネクタの嵌合様式

3. 実験方法

嵌合操作の印象評価にはSemantic Differential法(SD法)を用いました。SD法とはアンケート手法の一種であり、「良い-悪い」などの反対語からなる複数の形容詞対(質問項目)を 5 または 7 段階の尺度により評点付けすることによって対象製品の包括的な印象やイメージを検証する手法です。この手法より得られたデータは主成分分析や因子分析などを用いて印象を説明する因子(説明因子)の抽出と解釈が行われます。^{10, 11)}

ここで、アンケートに用いる形容詞対の抽出方法には対象となる製品の①開発/設計関係者が調査したい印象に関する単語(感性ワード)を書き出す、②営業と顧客間の会話から感性ワードを聞き取る、および③その製品分野に関連する専門雑誌、業界新聞に記載されている感性ワードを抽出する等の方法があります。¹²⁾本研究では、これら3つの方法を用いて感性ワードを抽出し、その中から基板対基板コネクタにおける嵌合操作時の作業感覚や操作印象に関わる「硬い」や「パチンと感じる」、「スムーズな」等の質問項目を選定しました。

実験には 20 名の成人男性(右利き、20 代 11 名、30 代 8 名、40 代 1 名)に協力頂き、スタッキング高さや嵌合力等の代表的な設計因子が異なる基板対基板コネクタ 8 種類(A~H、表 1)を使用して嵌合操作を実施し、各サンプルの試行が終了するごとに操作印象を回答して頂きました。

また、嵌合操作の様子を光学式モーションキャプチャ装置(ノビテック製 VENUS 3D)により記録して動作解析を行い、SD 法より抽出された説明因子と手指動作の関係について検証しました。

表 1. 評価サンプルの仕様一覧

サンプル名	スタッキング高さ /mm	奥行き/mm	極数
A	0.6	3.00	30
B	0.7	2.50	30
C	0.7	2.50	30
D	0.7	2.50	40
E	0.7	2.20	20
F	0.8	1.95	30
G	1.0	2.50	28
H	1.5	1.95	30

4. 結果と考察

嵌合操作に対する実験協力者 20 名の SD 法による回答結果を集計し、主成分分析を用いて解析を行いました。固有値が 1 以上であり操作印象の軸として解釈可能な成分には 2 つの主成分が抽出され、それぞれの寄与率は第 1 主成分 が 36.5 %、第 2 主成分 は 17.2 %を示していました。

主成分の意味付けは、各々に対し因子負荷量が 0.7 以上である質問項目を用いて行いました。因子負荷量とは主成分と各質問項目との相関係数に対応する値です。第 1 主成分は「パチンとを感じる」、「ヌルっとする」、「わかりやすい」などの嵌合時の操作感覚に関する質問項目で構成されていたことから「嵌合感覚」と解釈し、第 2 主成分については「きつい」や「硬い」などの手指の負荷に関わるものの因子負荷量が高いことから「作業負担感」と判断しました。

つづいて、各コネクタの印象特性を把握するためにそれぞれの主成分得点を算出しました。第 1 主成分得点と第 2 主成分得点の散布図を図 3 に示します。横軸が第 1 主成分得点を、縦軸が第 2 主成分を表しています。この散布図より、評価に供した 8 つのサンプルは各々の設計条件を反映して異なる座標に位置することが確認されたことから、操作印象に寄与する設計因子または動作特性が存在するものと推察されました。

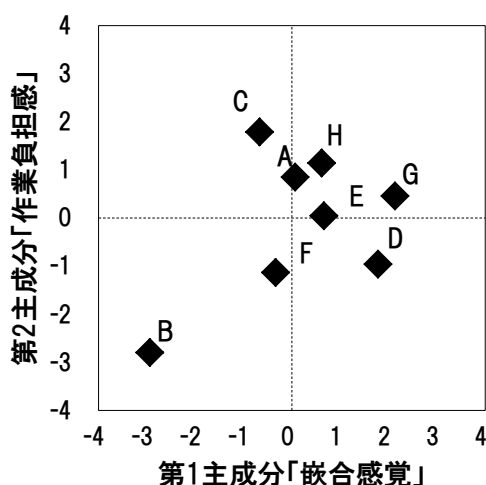


図 3. 主成分得点の分布(第 1-第 2 主成分)

嵌合操作印象の説明因子として抽出した2つの主成分に寄与する設計要素を明確にし、そこから操作性向上に関わる開発指針を見出すために各主成分と寸法因子、動作特性間の関係について詳細な検証を実施しました。

第1主成分「嵌合感覚」に関連する押圧時の操作感覚については、入力装置の一つである押しボタンに関する研究事例があり、操作者の指先がボタン押圧時に検知する感覚の評価指標として荷重-変位曲線に着目した検証結果が示されています。^{13, 14)}そこで、基板対基板コネクタの嵌合様式を踏まえ挿入荷重-変位曲線から導出されるクリック率(図4)を中心に解析を行いました。その結果を図5に示します。横軸に表すクリック率と縦軸に表す第1主成分「嵌合感覚」との間に正の相関関係が見出され、特に有効接触長が共通であるサンプル間において強い相関が見られることが確認されました。また、この「嵌合感覚」は、有効接触長が大であるほどその評価が向上する傾向が認められました。

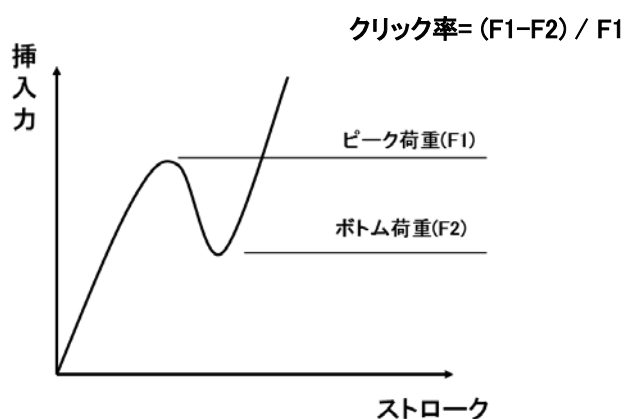


図4. クリック率

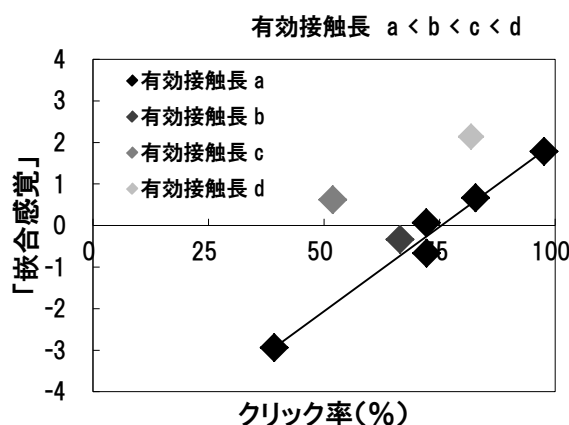


図5. 「嵌合感覚」とクリック率の関係

操作印象の説明因子である「嵌合感覚」が実際の嵌合動作に与える影響を明らかにするために、有効接触長が共通でクリック率の異なるサンプル B および D を用いてモーションキャプチャによる動作解析を実施しました。

図 6 は実験協力者が嵌合操作時にプラグの押圧に用いた人差し指(示指)の先端とレセプタクルが実装されたリジッド基板に設置した反射マーカの 2 点間距離の時間推移を表しています。サンプル B と D では嵌合完了に達してから指を離すまでの時間が大きく異なっており、クリック率の高いサンプル D の場合、操作者は嵌合位置(2 点間距離の最小値)に到達した後すぐに示指をリジッド基板から離す一方で、クリック率が低いサンプル B では嵌合完了後もプラグ側である FPC を押し続ける様子が確認できました。これは、操作者がクリック感を嵌合完了の合図として検知していることを示唆しており、クリック率が低い場合には嵌合状況の正しい判断が困難であると推察されます。これにより、「嵌合感覚」に寄与するクリック率が単に操作印象の程度を表す指標となるだけでなく、作業効率にも大きな影響を与えていることが確認できました。また、クリック率が低い場合、操作者は嵌合状況の判断がつかないまま押込み作業を続行することから、レセプタクルが実装されている基板に対し過剰な負荷が加わることも懸念されます。したがって、コネクタの破損を防ぐ観点からも「嵌合感覚」の最適化は重要であると考えられます。

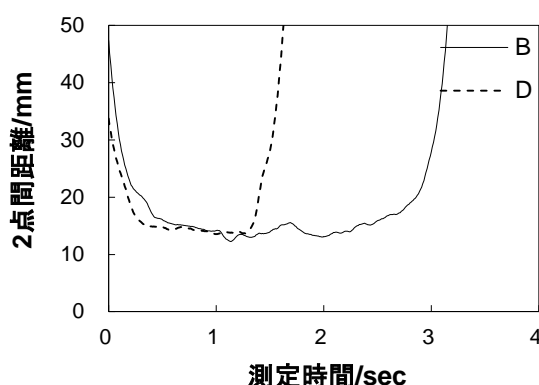


図 6. 指先とリジッド基板間の距離の変化

第 2 主成分である「作業負担感」については、嵌合操作時の手指負担に関わる設計要素との関係性を検証しました。その結果、挿入力との間に正の相関関係が認められました。よって、挿入力が上昇するほど「作業負担感」が増すことが明らかとなりました。さらには、有効接触長が共通の場合は、奥行きが広がると「作業負担感」が低下することが確かめられました。

当社では、以上の検証結果をもとに基板対基板コネクタの操作性向上に関わる設計指針を構築し、実際の製品設計に展開することでお客様の作業品質向上に貢献する製品開発を進めています。

5. まとめ

本研究では、基板対基板コネクタの操作性向上を目的に嵌合操作に関わるユーザビリティ評価を実施し、嵌合操作の印象特性とその特性に影響を与える設計要素を検証しました。その結果、基板対基板コネクタの操作印象を説明する主要な因子として「嵌合感覚」および「作業負担感」を抽出し、それぞれの因子に寄与する設計要素を明らかにすることで嵌合操作性の向上に関わる設計指針を見出すことができました。

今回得られた操作性向上に関わる設計指針を当コネクタの製品開発に反映することで、お客様にとってより良い作業品質を提供するとともに、作業環境や作業者の習熟度に寄らず安心確実に嵌合操作ができるようさらなるユーザビリティの向上を進めて行く予定です。

[参考文献]

- 1) ISO 9241-11:1998, Ergonomics Requirements for office Work with Visual Display Terminals (VDTs) - Part 11: Guidance on usability.
- 2) 石川 哲弥, 航空電子技報, **26**, 92-97 (2003).
- 3) 鴨原 正義, 電子情報通信学会研究報告, **105**, 7-12 (2005).
- 4) SAE/USCAR-25-1:2008, Electrical Connector Assembly Ergonomic Design Criteria.
- 5) JASO TP05002c : 2006, 自動車用電気コネクタのかん合作業に関する諸特性.
- 6) 金指 央樹, 宮田 なつき, 新井 民夫, 千葉 龍介, 太田 順, 精密工学会誌, **74**, 1335-1340 (2008).
- 7) 大塚 真言, 西村 崇宏, 瀬尾 明彦, 土井 幸輝, 日本経営工学会論文誌, **61**, 276-283 (2010).
- 8) 山本 知幸, Surya G. Nurzaman, 濱田 隆一, 石黒 浩, 佐藤 太一, 札幌 勇大, 津坂 裕子, 日本ロボット学会学術講演会予稿集, **30**, 3L1-5 (2012).
- 9) 濱田 隆一, 石黒 浩, 電子情報通信学会技術研究報告, **113**, 37-40 (2013).
- 10) Charles E. Osgood, George J. Suci and Percy H. Tannenbaum, *The measurement of meaning*, (University of Illinois Press, Urbana, 1957).
- 11) 福田 忠彦, 人間工学ガイド 感性を科学する方法, (サイエンティスト社, 東京, 2009), p. 153-161.
- 12) 長町 三生, 商品開発と感性, (海文堂, 東京, 2005), p. 13-24.
- 13) 小坂 洋明, 渡辺 嘉二郎, 永岡 秀一, 計測自動制御学会論文集, **31**, 1880-1888 (1995).
- 14) 千葉 久雄, 佐伯 拓也, 長郷 学, 高野 慶介, 百瀬 隆之, 吉田 ゆき子, 品質工学, **16**, 455-459 (2008).