

CAE最前線:

## カシオが設計者CAEによるフロントローディングで関数電卓の従来課題を解消

<https://monoist.itmedia.co.jp/mn/articles/2303/08/news010.html>

関数電卓の新機種開発において、カシオ計算機は設計者CAEによるフロントローディングを実践し、液晶パネル周りを補強する部品を、従来の金属から樹脂に置き換えることに成功した。

2023年03月08日 07時00分 更新

[八木沢篤, MONOist]

### タフさが要求される関数電卓、カシオがとった対策と課題

一般的な電卓とは異なり、 $+$  $-$  $\times$  $\div$ の四則演算の他にも、複雑な関数の計算などが行える関数電卓。日本では理系の学生になじみのあるアイテムといえるが、STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) 教育が進んでいる海外に目を向けてみると、中高生の授業の中でも関数電卓が広く活用されている。

そのため、関数電卓は国ごとの言語や教育要項にあわせて仕様が異なり、少量多品種の生産に対応できることが求められる。また、学生が日常的に使うアイテムであるため、落下や過度な圧力、ねじれなどに対するタフさも重要となる。

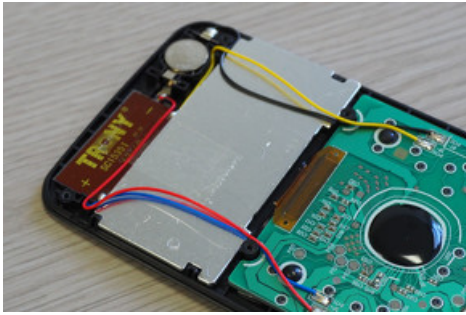
日本を含む世界各国で関数電卓を展開しているカシオ計算機(以下、カシオ)では、品質や耐久性に関して厳しい社内規定を設けており、さまざまな環境下での利用に耐え得る関数電卓を、各国ニーズや仕様に対応する形で提供している。

中でも、耐久性が求められる液晶(LCD)パネル周りの強度向上を目的に、カシオでは液晶パネルの裏面にインナープレート(あるいはLCDプレート)と呼ばれる金属製の補強板(アルミ製のパネル)を設け、落下や過度な加圧、ねじれなどに伴う液晶割れトラブルを防止する措置をとってきた。だが、同時にその対策は、部品コストや重量の増加、製造時の絶縁処理の手間といった課題を伴うものでもあった……。

こうした課題を受け、関数電卓を手掛ける設計室のメンバーからは「インナープレートの材質を金属ではなく樹脂に置き換えることはできないか?」といった声も上がっていたが、「樹脂では強度的に満足できそうにない」との理由から、従来機種には金属製の補強板が用いられてきた。



カシオの関数電卓「ClassWiz」シリーズの新機種「FX-991CW」[クリックで拡大]



左が従来機種に用いられている金属製インナープレートの実物。右が実際の取り付けイメージ(背面筐体を外した状態)  
[クリックで拡大]

ちなみに、現在カシオが取り扱っている関数電卓のカテゴリーは、スタンダード関数電卓、プログラム関数電卓、グラフ関数電卓などが存在し、各国対応機種ベースとなるモデルの数は92機種(原稿執筆時点)にも上るといえる。また、モデルによっては乾電池を用いるバッテリータイプ、ソーラーパネル+ボタン電池の2wayタイプのバリエーションも存在している。

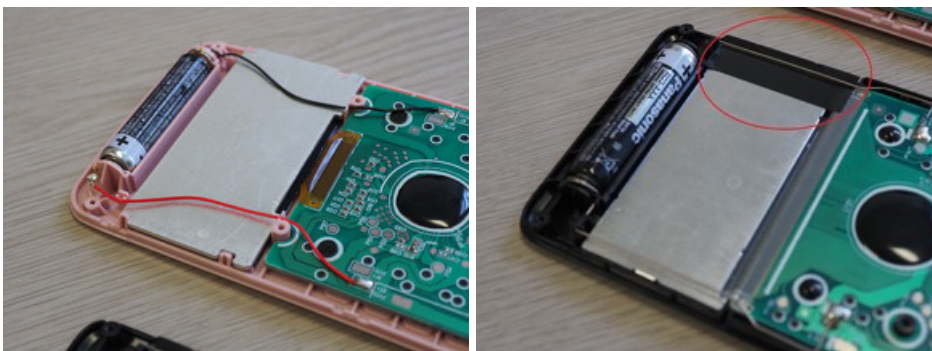
## 「できそうにない」をCAE技術で検証し、「できる」へ

本当にインナープレートの材質を樹脂に置き換えることは不可能なのか――。

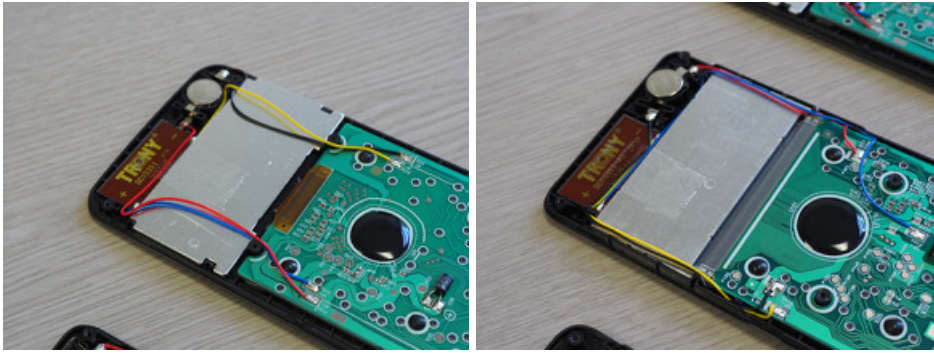
約8年ぶりとなる関数電卓の新機種開発を機に、設計者CAEによるフロントローディングの実践によって長年の課題に挑戦したのが、カシオ 羽村技術センター 技術本部 機構開発統轄部 第二機構開発部 21開発室に所属する結城光司氏と江口裕紀氏だ。

現在、カシオでは全品目の製品開発において設計者CAEのアプローチを展開し、フロントローディングによるモノづくりを実践。これに並行して、設計者に対するCAE教育にも取り組んでおり、量産設計における必要な解析を設計者自身で行える体制を構築している。

結城氏は、全社における設計者CAEの水平展開の取り組みが本格化する少し前に、自ら希望して、もともと所属していた関数電卓などを手掛ける設計チームを一度離れ、設計者CAEの活動を推進するCAE技術開発グループへ異動。新たな所属先で、結城氏は静解析、非線形解析、落下解析などの解析スキルを学んだ後、あらためて、設計者として関数電卓の開発に携わっていた際に課題となっていた“インナープレートの樹脂化”の可能性について、CAE技術で事前検証を実施することにした。その結果、「従来機種で用いていた金属製のインナープレートを樹脂に置き換えることで、さまざまなメリットが引き出せることが分かってきた」(結城氏)。



金属製インナープレートが用いられている従来機種(背面筐体を外した状態)【1】。左が2世代前の機種、右が1世代前の機種(いずれもバッテリータイプ)。1世代前の機種(右)では自動化ライン対応に伴い配線がリード線からピアノ線に変更されていることが分かる。赤丸部分は絶縁テープとなる[クリックで拡大]



金属製インナープレートが用いられている従来機種（背面筐体を外した状態）【2】。左が2世代前の機種、右が1世代前の機種（いずれも2way＜ソーラーパネル＋ボタン電池＞タイプ）。2wayタイプは配線が複雑であるため自動化ライン対応はしていない【クリックで拡大】

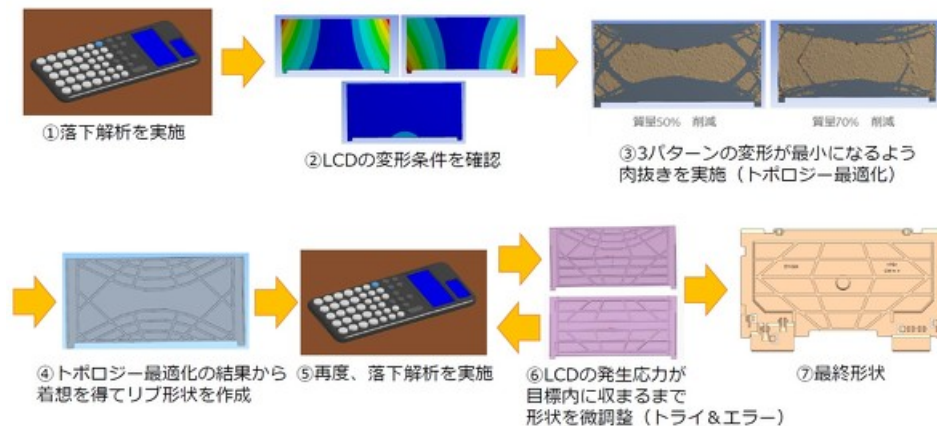
そして、改善の方向性のめどがついたタイミングで、ちょうど江口氏が関数電卓の新機種の設計を担当することになり、2人で協力して、樹脂製インナープレートを搭載した新機種の開発に取り組むこととなった。

## トポロジー最適化を活用し、形状の最適化を実施

インナープレートの樹脂化に向けては、[トポロジー最適化（位相最適化）](#)を用いて樹脂製インナープレートの最適な形状を導き出した。

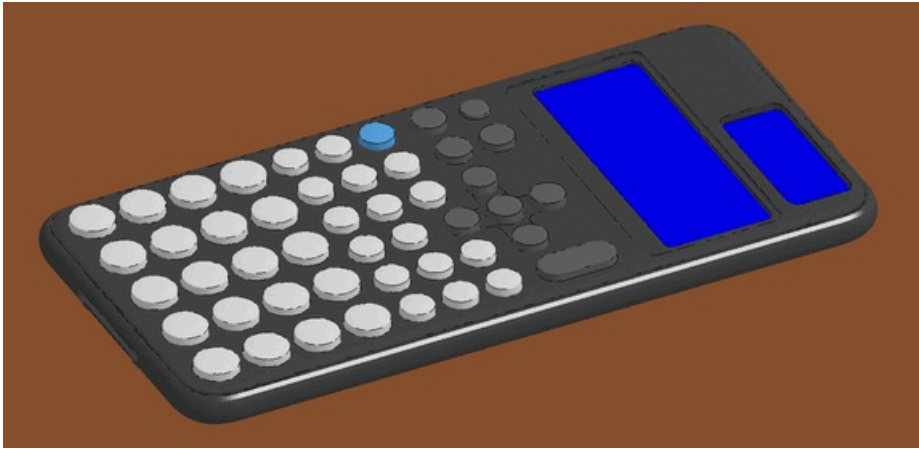
具体的には「まず、落下解析を実施し、液晶部の変形条件を確認して3パターンの変形を捉え、これら3つの変形が最小になるようにトポロジー最適化で肉抜きを行った。そこで得られた結果から着想を得て、リブ形状を施したインナープレート进行設計し、再度落下解析を実施した。落下解析の結果（液晶部の発生応力）が目標値以内に収まるまで形状の微調整と解析を繰り返した」（結城氏）。

### トポロジー最適化を用いて形状の最適化を図った



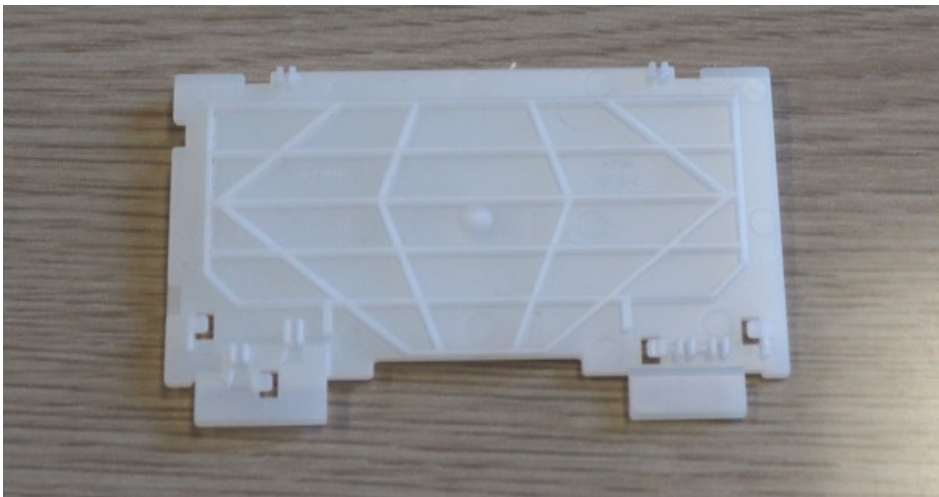
インナープレートの樹脂化に向けた設計アプローチについて（※取材内容を基にMONOist編集部が作成）【クリックで拡大】





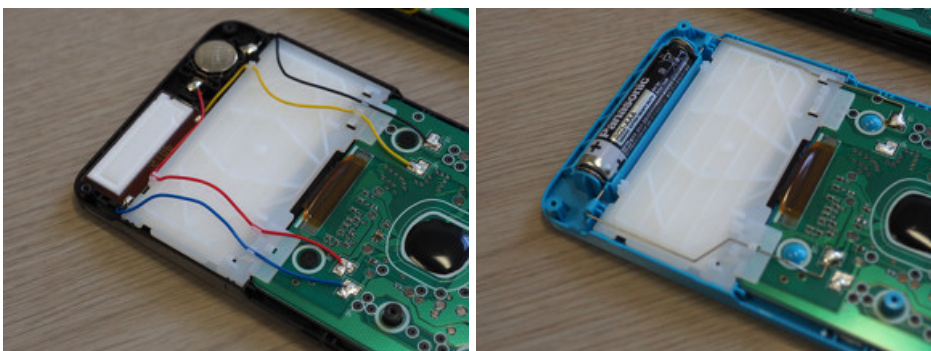
落下解析のイメージ[クリックで拡大] 出所:カシオ計算機

従来のアプローチでは、実際に樹脂製インナープレートを試作して、実験によって検証する必要があったが、トライ&エラーの作業をコンピュータ上（バーチャル）で繰り返し行えたことで非常に精度の高い設計が可能となり、ほぼ手戻りなしで金型製作まで進めることができたという。結城氏は「実際、出来上がった樹脂製インナープレートを組み込んだ実機試験で、液晶部の割れは発生しなかった」と振り返る。



完成した樹脂製インナープレートの実物[クリックで拡大]

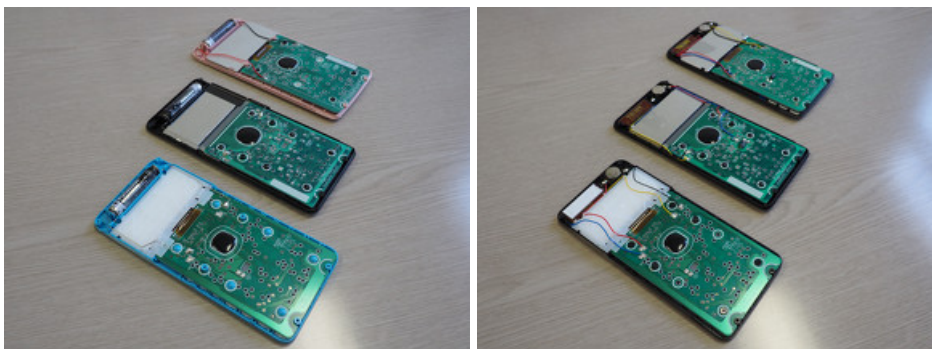
こうして開発した樹脂製インナープレートは2022年発売の「ClassWiz」シリーズの新機種（FX-991CW、FX-82NLなど）に搭載されることとなった。



背面筐体を外した状態の新機種「FX-991CW」（左）と「FX-82NL」（右）。インナープレートの樹脂化により4つの効果（詳細は次ページ）が得られたという[クリックで拡大]



樹脂製インナープレートを採用した新機種「FX-991CW」。左は背面筐体を外した状態〔クリックで拡大〕



カシオは設計者CAEによるフロントローディングの実践によって長年の課題であったインナープレートの樹脂化に成功した。写真はバッテリータイプ(左)と2Wayタイプ(右)の変遷(背面筐体を外した状態)。いずれも手前が新機種、中央が1世代前の機種、奥が2世代前の機種となる

## 金属から樹脂への置き換えで得た4つの効果

実際、インナープレートの樹脂化によって得られた効果は大きく4つあるという。

まずは「絶縁テープ(絶縁処理)の廃止」だ。バッテリータイプの関数電卓の場合、以前まで、基板とバッテリー部の配線にリード線を用いて手作業ではんだ付けしていたが、現在は自動化ライン対応に伴ってリード線をピアノ線(金属線材)に変更し、はんだ付け作業が自動化されている。「自動化ライン対応では、金属のインナープレートの上にピアノ線を通すことになるため、従来機種では絶縁テープによる処理がどうしても必要になっていたが、樹脂製のインナープレートの採用によって、新機種では絶縁処理が不要となった」(江口氏)。

## 1. 絶縁テープの廃止（Batteryタイプ）

旧 関数電卓



新 関数電卓



※赤丸内が絶縁処理を施してある箇所

インナープレートの樹脂化による効果(1):絶縁テープ(絶縁処理)の廃止(※取材内容を基にMONOist編集部が作成)  
[クリックで拡大]

次に「ワイヤー配線経路と押さえ位置の最適化」だ。2wayタイプの関数電卓の場合、基板とソーラーパネル+ボタン電池部との配線はリード線が用いられており、配線に手間が掛かるなど組み立て性の面で課題があった。新機種では、樹脂製インナープレート上に、最適な配線経路になるようリード線の押さえ位置にワイヤー圧入用のU字形状の突起を数箇所設けることで、組み立て性を向上させている。ちなみに、2wayタイプはバッテリータイプよりも配線が複雑で自動化ライン対応が難しいことから、組み立て性の向上、作業工数の削減は非常に重要なテーマの1つだったという。

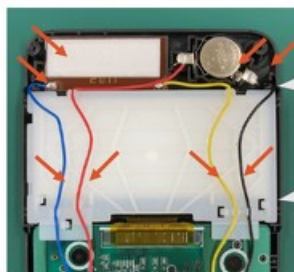
## 2. ワイヤー配線経路と押さえ位置の最適化（2Wayタイプ）

旧 関数電卓

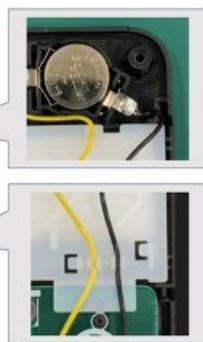


ワイヤー圧入箇所（9箇所）

新 関数電卓



ワイヤー圧入箇所（8箇所）

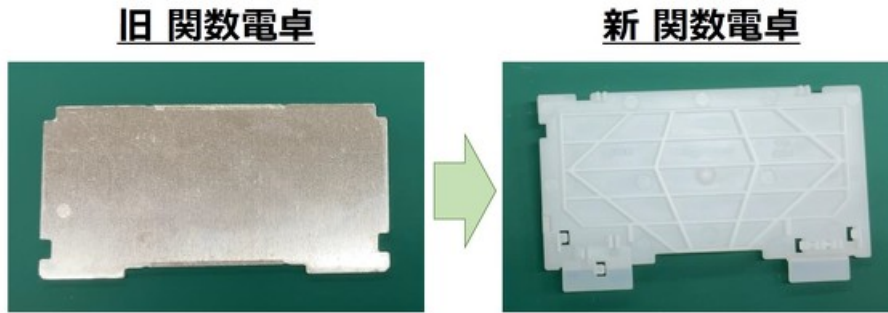


インナープレートの樹脂化による効果(2):ワイヤー配線経路と押さえ位置の最適化(※取材内容を基にMONOist編集部が作成)[クリックで拡大]

さらに、インナープレートの材質を金属部品(アルミ)から樹脂に置き換えたことで「部品コストの削減」も果たしている。江口氏は「絶縁テープの廃止と、インナープレートの樹脂化によって、加工と部品のコストを76%ダウンすることに成功した」と説明する。



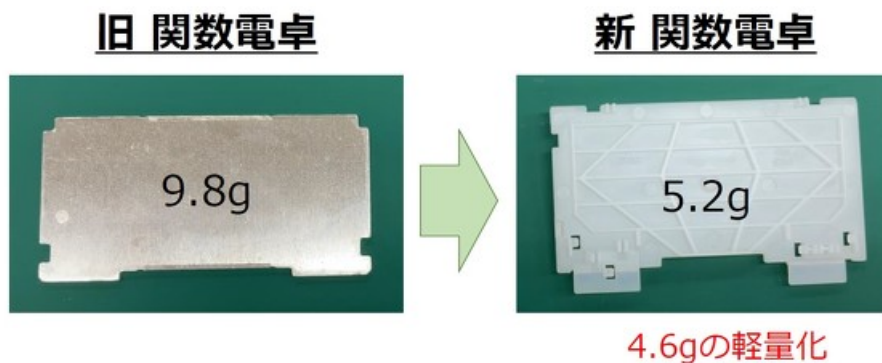
### 3. 部品コストの削減



インナープレートの樹脂化による効果(3): 部品コストの削減(※取材内容を基にMONOist編集部が作成) [クリックで拡大]

同様に、金属から樹脂に置き換えたことで使い勝手の向上にも寄与する「軽量化」も実現した。「従来機種の関数電卓に用いられている金属製インナープレートが9.8gであるのに対し、樹脂製インナープレートは5.2gと4.6gの軽量化を果たしている」(江口氏)。

### 4. 部品の軽量化



インナープレートの樹脂化による効果(4): 部品の軽量化(※取材内容を基にMONOist編集部が作成) [クリックで拡大]

以上、インナープレートの樹脂化による4つの成果は、新機種開発における設計者CAEによるフロントローディングの実践、そして、設計標準化および設計チェックリストの運用などを行った結果によるものであり、これらの活動は、その他の機構的な問題発生の低減にも大きく寄与したという。「設計サンプル、品質サンプル、量産前サンプルといった各段階の評価試験における問題発生件数を、従来機種と比較して大幅に削減することができた。その成果が最も出た部分が、今回の液晶周りの改善、インナープレートの樹脂化によるものだった」(結城氏)。

#### 親しみやすい関数電卓を目指してキー形状を変更

これらの改善活動に加え、新機種でチャレンジした点がもう一つあるという。それはキー形状だ。従来の電卓や関数電卓のキーの形状は、一部を除きほとんどが四角キーだが、新機種では丸キーを全面採用している。

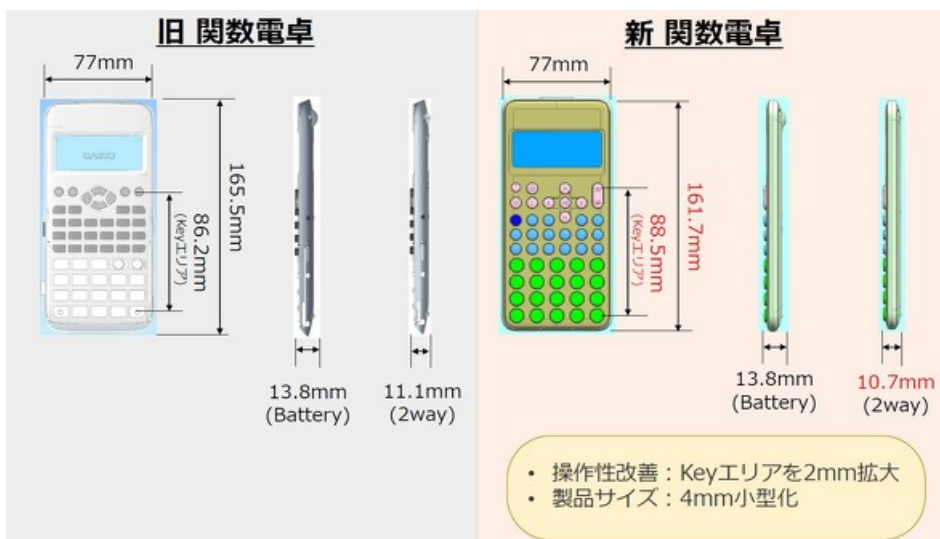


従来機種(写真左は「FX-991EX」)では主に四角キーが用いられてきたが、新機種「FX-991CW」(右)では新たに丸キーを採用している[クリックで拡大]

その理由について、江口氏は「デザイン部門から形状提案があり、それを設計した。関数電卓のメインユーザーである学生の皆さんに、より親しみやすい機種にしたかったからだ。ゲーム機のコントローラーのボタンから着想を得て丸キーを採用することにした。ゲームのように楽しみながら関数電卓を使ってもらいたいという意図が込められている。従来機種でも部分的に丸キーを用いていたこともあるが、全面的に丸キーを採用したのは初めての試みだ」と説明する。

丸キーは親しみやすさだけでなく、四角キーと比較してどの方向からでも押しやすいといった特長も備える他、全面的に丸キーを採用したことで、最上部のキーから最下部のキーまでの距離(キーエリア)が88.5mmと従来機種比で2mm拡大し、操作性の改善に寄与している。

さらに、筐体そのものもサイズダウンしており、バッテリータイプで比較すると、従来機種が165.5×77×13.8mmなのに対して、新機種は161.7×77×13.8mm。2wayタイプで比較すると、従来機種が165.5×77×11.1mmなのに対して、新機種は161.7×77×10.7mmと小型化を果たした。



丸キーを採用する新機種ではKeyエリアを拡大(操作性が向上)すると同時に、製品サイズの小型化を果たしている(※取材内容を基にMONOist編集部が作成)[クリックで拡大]

カシオでは、関数電卓の設計は基本的に1人で担当することになっており、若手設計者にとって多くの経験と学びを得る絶好の機会にもなっているという。

江口氏は「私も今回初めて関数電卓の新機種の設計を任されたが、結城さんだけでなく、他の先輩方からもアドバイスをもらいながら、インナープレートの樹脂化をはじめ、いくつか新しいことに挑戦できた。次はさらなるコスト削減につなげるなど、設計者CAEの活用の幅を広げていきたい。また、丸キーの押し心地などをデジタル技術で定量的に評価する手法の確立に向けて、CAE技術開発グループの協力を仰ぎながら取り組めたらと思う」と展望を語る。

[⇒その他「CAE最前線」のバックナンバーはこちら](#)



