

CAEによる落下強度を考慮した樹脂製筐体の軽量化

CAE-Based Lightweight Design of Plastic Enclosures Considering Anti-Drop Strength

稲垣 賢一郎* ・ 山田 穰* ・ 田中 尚武** ・ 竹山 敦** ・ 山中 芳昭*** ・ 川口 保****
 Ken-ichiro Inagaki Yutaka Yamada Naotake Tanaka Atsushi Takeyama Yoshiaki Yamanaka Tamotsu Kawaguchi

電動工具の開発において、強度解析では落下方向ごとに解析上の破壊応力の基準値を設定するとともに現実に即した境界条件を実測値で与えることで解析精度を高め、成形性では流動解析の結果を開発初期の段階で筐体形状に反映させて金型内での樹脂流動性を改善することにより、軽量で耐落下強度に優れた樹脂製筐体を実現した。

これにより筐体は約 20 % 軽量化でき、軽くて使いやすく、また省資源で環境負荷も低減できる。

In the development of electrical power tools, lightweight plastic enclosures with excellent anti-drop strength have been achieved by determining reference values of breaking stress by dropping direction using a strength analysis, while improving analysis accuracy by applying a measured value as a reality-based boundary condition. Improvement of resin flow in the mold by reflecting the flow analysis results to the enclosure shape in the initial stage of development also helped achieve the easy-to-use lightweight design of the enclosure by approx 20% as well as reducing the environmental impact through material conservation.

1. ま え が き

充電式電動工具（以下、電動工具と記す）は、電池パックのリチウムイオン化により軽量化が進み、質量は約 1.5 kg となった。しかし、作業者の高齢化が進み疲労低減の要求がますます強くなっており、一層の軽量化が重要な課題である。これまで電動モータの小型化や機構部品の樹脂化等による軽量化は検討してきたが、それも限界に近づいている。

そこで筆者らは、図 1 に示すように電動工具の総質量に対する各構成部品の質量を分析するなかで、大きな質量を占める筐体に着目して軽量化を検討する。

電動工具の筐体は、内部にある電動モータ、減速機や駆動機構等を保護するという重要な役割を有している。また、作業者が電動工具を高い場所からあやまって落下させた場合でも、筐体が容易に破壊しない高いレベルの品質が求められる。そこで従来から、筐体には高強度材料としてガラス繊維強化プラスチックが採用されている。

また、筐体の構造決定に際しては、開発の初期段階では筐体を形作る樹脂の基本肉厚は成形性や強度面を考慮して

均一とされており、開発プロセスの最終段階において金型品の落下評価等で強度が不足している部位に補強を施すことが一般的であった。このため強度が不要な箇所でも必要以上に厚肉となり、筐体は重くなっていた。

そこで筆者らは CAE を活用することで、基本肉厚を大幅に減らして従来に比べて 20 % の軽量化を行うとともに、耐落下強度にも優れた筐体を開発したので以下に報告する。

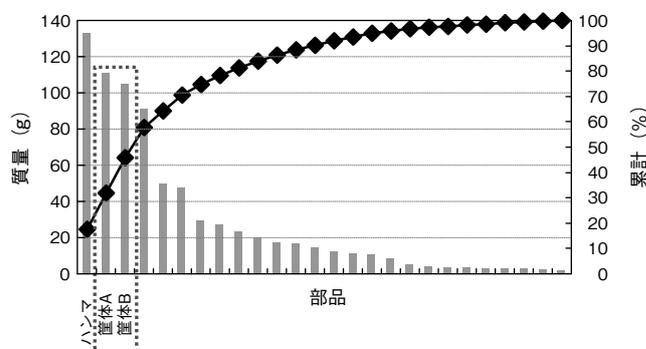


図 1 工具全体に占める筐体の質量割合

* 電器事業本部 電器R & Dセンター Research & Development Center, Home Appliances Manufacturing Business Unit

** パナソニック電工パワーツール株式会社 Panasonic Electric Works Power Tools Co., Ltd.

*** 電器ものづくり・調達革新センター Manufacturing & Procurement Innovation Center, Home Appliances Manufacturing Business Unit

**** 生産技術研究所 Production Technologies Research Laboratory

2. CAEを活用した筐体の軽量化

CAEを活用して、従来の電動工具に使用されている筐体をモデルに軽量化を検討する。

2.1 電動工具に用いられる筐体の特徴

従来の電動工具に使用されている筐体の事例を図2に示す。

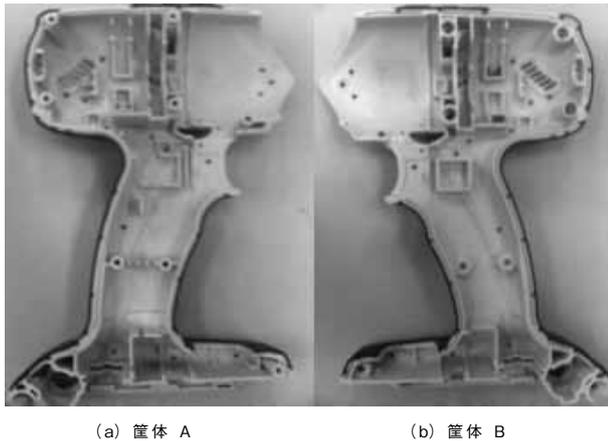


図2 電動工具の筐体部品

これに使用されているガラス繊維強化プラスチックには次のような解析上の問題がある。

- (1) カタログに記載の樹脂強度は、所定の条件で作製されたサンプルの値である。複雑な形状をもつ製品の場合は繊維配向性がサンプルと同じ状態ではないため、破壊判定基準とすることが難しい¹⁾。
- (2) 金型成形時のウェルド箇所での強度劣化が大きい²⁾。

また、これまでの筐体を対象としたCAEの活用実態は次のようなものである。

- (1) 強度解析の活用は、量産デザインが未定な時期においては筐体に加わる荷重条件の明確な設定が困難なことから解析精度に問題があり、開発初期段階では十分に行われていない。また量産デザインが確定し、金型製作後の成形品で落下品質トラブルが発生した場合に部分的な補強を行い耐落下品質レベルを向上させる目的で活用されることが多い。
- (2) 流動解析の活用は、従来からのノウハウ蓄積があるため充填性にかかわる重大なトラブルは少なく、金型製作の直前に問題がないことを検証するために行われている。

そのため、基本肉厚を従来よりも大幅に薄肉化したうえで高強度な筐体を実現するにあたり、以下の解析技術の開発が必要である。

- (1) 筐体強度においては、解析による破壊判定基準の設

定で、落下方向や着目部位ごとに繊維配向性を考慮する。また、実際に製品に加わる衝撃力を境界条件とすることで解析精度を高める。

- (2) 成形性においては、流動解析と試作金型による成形品で充填性、ばり、ひけ、反り、ウェルドの評価を事前に行い、量産金型での成形トラブルを未然に防止する。またウェルド位置の強度に関しては、ダンベル試験片でその部分での強度低下率を検証し、強度解析結果とウェルド位置を対比しながら補強等の対策を行い、落下強度試験で成形品がウェルド位置を起点にして破壊するトラブルを防ぐ。

2.2 CAEによる高強度な軽量筐体

ここでは一例として、図3(a)に示す方向の落下強度の検討を取り上げる。

2.2.1 強度解析条件

解析の境界条件として、図3(a)に示すとおり実際に電動工具を任意の高さから落下させ、製品に加わる衝撃力をロードセルで測定してその値を荷重として与える。

衝撃力が落下高さの平方根に比例することは理論的にもわかっており、実験結果でも傾向が一致するのを確認している。したがって一度任意の高さからの落下衝撃力を測定すれば、所定の高さの落下衝撃力を推定できる。これに基づいて製品全体に加わる衝撃力を推定し、各構成部品に荷重分配することで解析の境界条件とする。

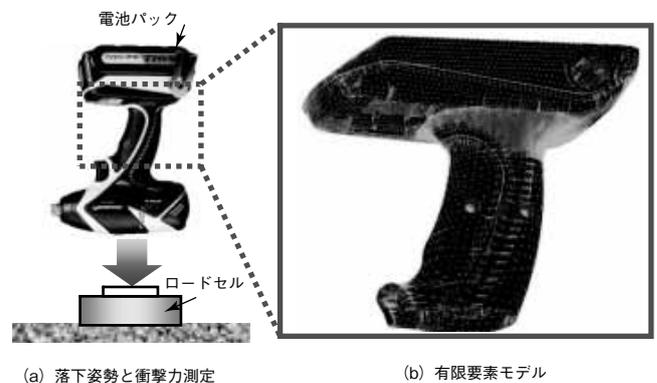


図3 落下姿勢と解析モデル

2.2.2 解析上の破壊応力の設定

解析上、対象物が破壊したと判断するための基準値（以下、破壊応力と記す）の設定を以下の手順で行う。まず、従来製品を使用して高さを順次変えながら落下させ、筐体に起こる破壊現象を確認する。次に、この落下実験をCAEで再現し、破壊現象の再現性を確認したうえで、実機の破壊箇所での応力を破壊応力とする。

今回の事例では、まず図3(a)に示す姿勢で所定の高さから落下実験を行った結果、図4(a)に示すようにハンドル根元部で筐体破壊が発生している。次にCAEで実

験を再現するため、図3(b)に示す有限要素モデルを作成する。また、筐体が破壊する高さから落下させた際に加わる衝撃力から質量の大きい電池パック等の慣性力を推定して境界条件として与える。解析の結果、図4(b)に示すとおり筐体破壊が生じた箇所で応力集中が発生し、実験結果を再現していることがわかる。

以上のことから、実機に破壊が生じた箇所の応力を解析上の破壊応力と設定し、着目したハンドル根元部周辺で破壊応力を超えていない場合は筐体の破壊が起こらないと考えられる。

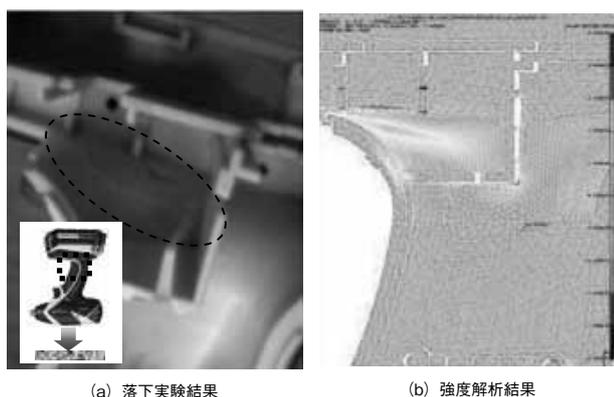


図4 解析での落下実験の再現性確認

2.2.3 CAEによる軽量筐体の強度解析

軽量化のため、基本肉厚を大幅に薄くした筐体の有限要素モデルを構築し、強度解析を行う。境界条件としては、前項と同様に電池パックの慣性力を推定して荷重条件として与える。解析結果は図5(a)に示すとおり、薄肉化により筐体の剛性が低くなるためにハンドル根元部近傍で応力が高くなり、破壊応力を超えている。そこで応力発生箇所や荷重方向から破壊のメカニズムについて仮説を構築し、補強を施す。その結果、図5(b)のように応力が緩和され、破壊応力以下となることから、解析上では筐体に破壊が発生しないといえる。

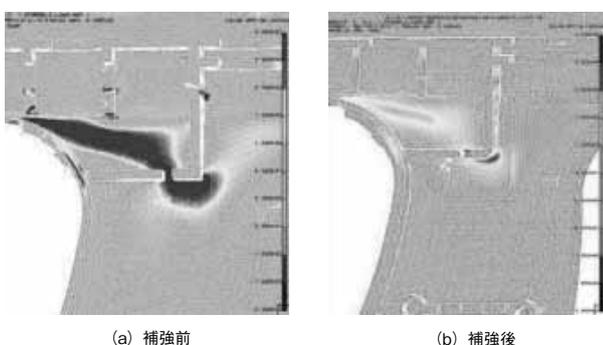


図5 軽量筐体の強度解析結果

次に解析結果を検証するため、軽量筐体を試作して落下実験を実施する。その結果、所定の高さから落下させても

筐体の破壊が生じていないことから(図6)、破壊応力の設定方法が妥当であることがわかる。また、破壊が懸念されるほかの複数の落下姿勢でも同様に筐体の強度を検証している。



図6 軽量筐体試作品の落下実験結果

2.3 軽量筐体の成形性検討

2.3.1 流動解析

成形性においては、筐体を薄肉とすることで充填性、バリ、ひけ、反りへの影響が予測される。そこで、開発の初期段階で強度解析と並行して図7に示すような流動解析を行うことで成形上の問題点を明らかにし、筐体形状の変更や成形条件の見直しを行うことで、量産金型での成形トラブルを防止する。たとえば充填性に問題がある場合、筐体形状に加えてゲート位置の変更等を検討することで成形トラブルの防止につなげる。



図7 充填時間の流動解析結果

2.3.2 ウェルド位置の強度

金型成形後の筐体で、強度に影響する要因としてウェルド箇所での強度劣化が挙げられる。

そこで、ウェルドが発生しても高強度な筐体とするため、まず図8に示すようなダンベル試験片でウェルド箇所での引張強度について測定する。具体的には試験片の中心付近にウェルドが発生するように成形した試験片Aと、ウェルドがない試験片Bを用いてそれぞれ引張試験を実施し、そ

これらの値から強度比率を算出する。その結果、試験片 A は図 8 (b) のようにウェルドに沿って破断し、試験片 B の破断する強度と比較すると強度低下率は 40 % であることがわかる (母材に対して 60 % の強度)。

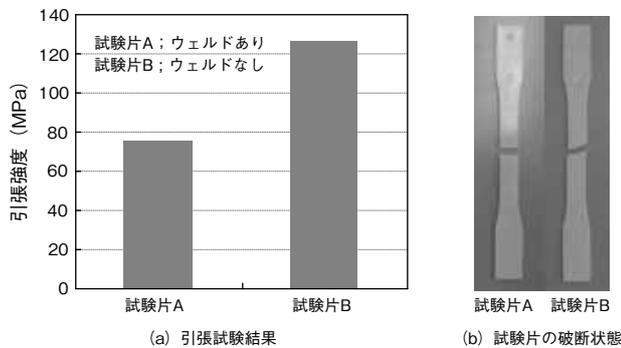


図 8 試験片によるウェルド位置での引張試験結果

したがって、強度解析の結果が破壊応力の 60 % 以下となる応力の小さい領域にウェルドを発生させることで、落下による筐体の破壊を防止することができる。

たとえば、流動解析の結果からウェルドが発生すると考えられる筐体のトリガ近傍に着目し、所定の方向で落下させた場合の応力分布を図 9 に示す。併せて破壊応力に対して 60 % 以下となる領域を点線枠で示す。ウェルドによる筐体の破壊を防ぐためには、比較的応力集中を起しやすすいトリガ付近を避けて点線枠内にウェルドを発生させることや、その箇所を補強することが考えられる。ここでは、より軽量の筐体とするためにウェルドの発生箇所を調整することが必要となる。

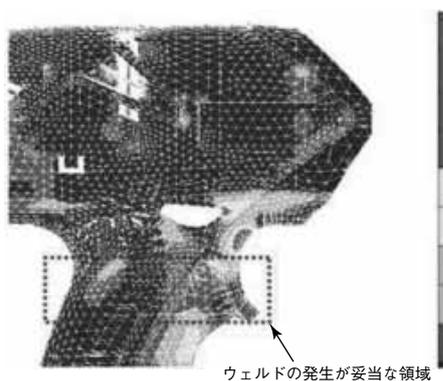


図 9 軽量筐体の強度解析結果

そこで、図 10 に示すようにゲート位置等の成形条件を変えながら、ウェルド位置を図 9 に示す領域に入れることで落下による筐体の破壊防止を図る。

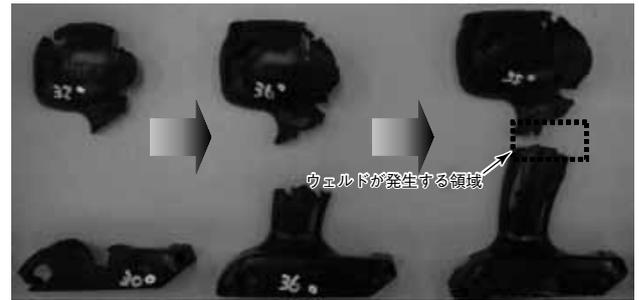


図 10 樹脂の充填経過とウェルド発生位置

3. 量産デザインの筐体

量産デザインが確定した段階で落下方向ごとに設定した破壊応力を適用し、再度強度解析を実施する。ここで落下姿勢の一例を図 11 に示すが、所定の高さで落下させた場合に破壊応力を超えないことを解析の結果から確認し、併せて前述同様に成形条件を変えながらウェルド発生位置の調整を行っている。

解析結果の検証として量産デザインの成形品で落下実験を行い、所定の高さからの落下で筐体に破壊がないことを確認している。

さらに解析精度の検証として、所定高さからの落下で発生する応力の破壊応力に対する余裕度と、落下実験で筐体が割れない高さを求めることにより、その誤差が約 10 % であることを確認している。

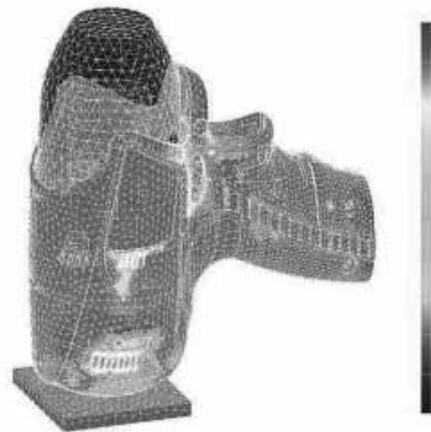


図 11 量産デザインの筐体による強度解析例

このようにして開発した電動工具の筐体は約 20 % 軽量化、すなわち使用材料の 20 % 削減を実現し、軽量で環境負荷にも配慮した工具の普及に寄与するものである (図 12)。



図12 軽量筐体を採用した電動工具

4. あとがき

電動工具の開発において、強度解析では落下方向ごとに解析上の破壊応力の基準値を設定するとともに現実に即した境界条件を実測値で与えることで解析精度を高め、成形性では流動解析の結果を開発初期の段階で筐体形状に反映させて金型内での樹脂流動性を改善することにより、軽量で耐落下強度に優れた樹脂製筐体を実現した。

これにより筐体は約 20 % 軽量化でき、軽くて使いやすく、また省資源で環境負荷も低減できた。

今後、さらに軽量で使用者の疲労を低減する電動工具の研究開発を進めていくつもりである。

*参考文献

- 1) 東郷 敬一郎: 材料強度解析学, 内田老鶴圃 (2004)
- 2) 成澤 郁夫: プラスチックの機械的性質, シグマ出版 (1994)

◆執筆者紹介



稲垣 賢一郎
電器 R & D センター



山田 穰
電器 R & D センター



田中 尚武
パナソニック電工
パワーツール (株)



竹山 敦
パナソニック電工
パワーツール (株)



山中 芳昭
電器ものづくり・調達革新センター



川口 保
生産技術研究所