

型鍛造品設計における 3 次元 CAD の適用

3-Dimensional CAD System for Die Forging

矢部 稔 / Minoru Yabe ・ 関西製造所 製鋼品事業所 関西システム部 CAD・制御システム室 参事

小林勇策 / Yusaku Kobayashi ・ 関西製造所 製鋼品事業所 自動車建機品製造部 型鍛造品技術室 室長

肥田安雄 / Yasuo Hida ・ 関西製造所 製鋼品事業所 自動車建機品製造部 型鍛造品技術室

池田英典 / Hidenori Ikeda ・ 関西製造所 製鋼品事業所 自動車建機品製造部 型鍛造品工場

岡村 泉 / Sen Okamura ・ 関西製造所 製鋼品事業所 関西システム部 CAD・制御システム室

要 約

鍛造用金型はその彫部と外周部とに流れる材料の挙動解析に、長年の経験で培われた形状定義ノウハウを加味して設計される。本稿では熱間鍛造による自動車用クランク軸の設計において 3 次元 CAD を適用し、金型設計の基本となる素形材のマスパロパティ計算にて工数削減と精度向上を達成した事例を中心に紹介する。

Synopsis

Forging dies are designed with long-experienced geometrical know-how from the study of metal behavior within the die cavity and gutter.

This paper mainly describes a method of mass-property analysis for crankshaft forgings with a 3-dimensional CAD system.

Applying this method gave us the benefits of reduced working-load and improved calculation precision.

1. 緒 言

自動車用クランク軸はエンジン性能を決定づける重要な機能部品であり、その製造法は熱間鍛造法と鋳造法とに大別される。特に熱間鍛造によるクランク軸は、鋳造品と比べて疲労強度に優れ、軽量化が図れるという利点を持つ。鍛造加工の際に重要なことは、欠肉や形状不良を定性的にかつ定量的に抑止するための金型設計を最適化することである。経験に基づく試行錯誤から脱却し、定量的な設計手法を確立することで、客先ニーズの多様化への迅速な対応が可能となる。

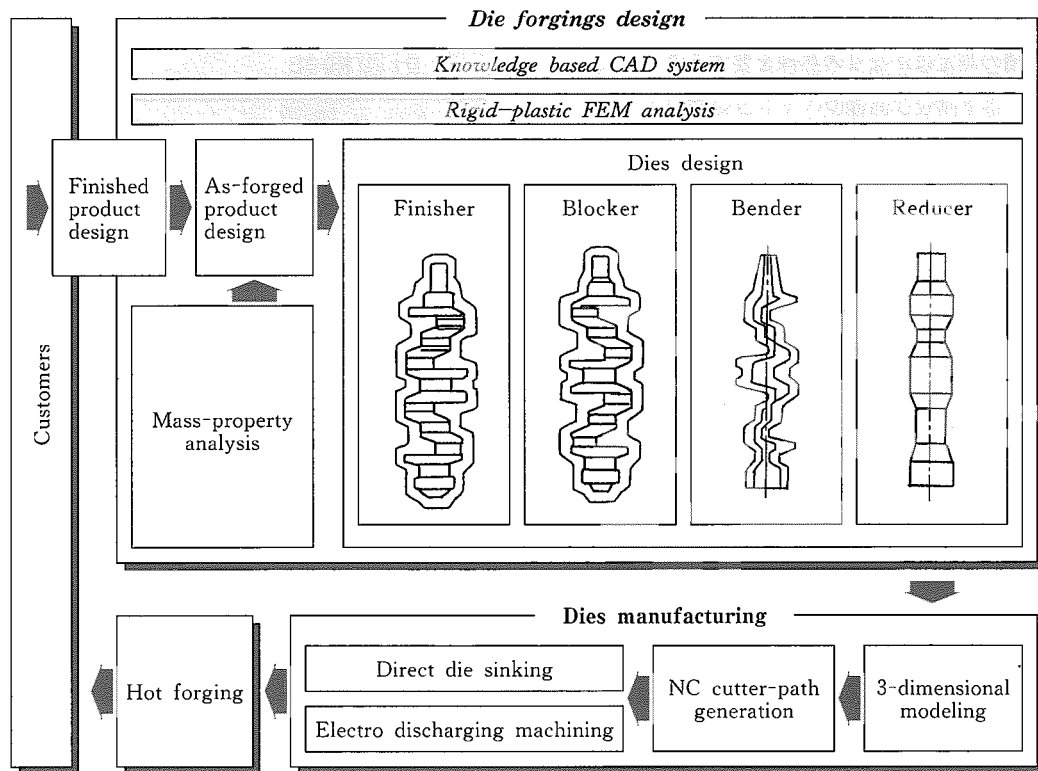
その対策として、筆者の事業所では CAD/CAM と剛塑性 FEM 解析の積極的活用を進めているが、従来の 2 次元手法では要求の高度化に追従できなくなり、3 次元手法へのステップアップが望まれている。

今回筆者らのグループは、金型設計の基本となる、素形材設計において 3 次元 CAD を適用し、そのマスパロパティを容易にかつ高精度に求める手法を開発した。本稿ではその手法と適用効果について、将来構想も含め解説する。

2. 型鍛造品の設計工程

第 1 図に熱間鍛造クランク軸の製造工程を示す。この中で、型鍛造品の設計は、客先との間で最終製品の基本形状を定義する「製品設計」、鍛造後の素形材形状を定義する「素形材設計」、素形材を鍛造するための金型形状を定義する「金型設計」の 3 工程に大別できる。また、クランク軸のように複雑な形状を有する機能部品の製造には、多段階にわたる鍛造を必要とするため、「金型設計」は、さらに圧延孔型、曲げ型、荒型、仕上型、品種によっては振り型等の設計工程に分類されることになる。

これら金型の設計では、従来より熟練者の経験・勘に多くを依存してきたが、現在は技術伝承と設計定量化を狙い、経験則に基づく CAD システムと、塑性理論に基づく設計方案との支援環境に移行しつつある¹⁾。



第1図 熱間鍛造クランク軸の製造工程

Fig.1 Manufacturing process of SUMITOMO's automotive crankshafts

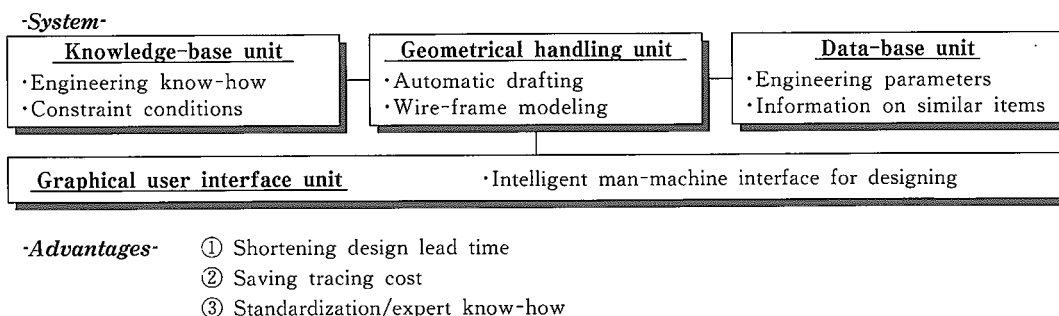
3. 型鍛造品設計CADシステムとその問題点

現状の型鍛造品設計CADシステムは、2次元手法を中心に、経験則を織り込み構築されている。第2図にシステムの基本構成を示しているが、作図処理の効率化を図りルーチン化された「CAD基本部」に加え、過去の設計実績を管理する「データベース部」、経験的な設計方案を管理する「知識ベース部」、設計者との対話的インタフェースを管理する「GUI入出力部」らがリンクされている。また「データベース部」と「知識ベース部」はそれぞれシステムから独立しており、過去の設計実績を解析し、既存の設計方案を更新するといった作業も可能になっている^{2),3)}。

一例として第3図に仕上型設計における突上げピンの自

動配置機能を紹介している。これは鍛造後に金型より材料を突上げ、引き離すピンの穴の大きさ、数、位置等を自動決定する機能だが、「CAD基本部」より取得した金型の基準位置情報から、「知識ベース部」が突上げピンの最適仕様を提示し、設計者が「データベース部」から検索された過去実績を参考にその仕様を確定すると、再度「CAD基本部」に処理がわたり、ピンの穴を自動作図するというものである。

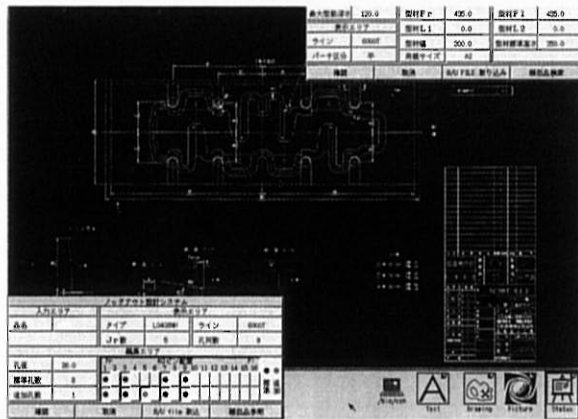
一方仕上型設計では、金型彫部とその外周部に流れる材料の重量配分を考慮した形状定義も、重要な検討課題になるが、現在の2次元手法では十分な機能が満たされているとは言い難い。一般に重量配分の検討は素形材の設計時に見積られたマスプロパティを基準としてなされる。第4図に2次元手法による素形材のマスプロパティ計算方法を示



第2図 型鍛造品設計CADシステムの基本構成と開発の狙い

Fig.2 System and advantages of knowledge based CAD for die forgings design

すが、精度よく目的とする重量を算出するには、対象形状の分割なり面積の測定にかなりの熟練を要することになる。



第3図 突上げピンの自動配置機能
Fig.3 Automatic layout function for ejector pins

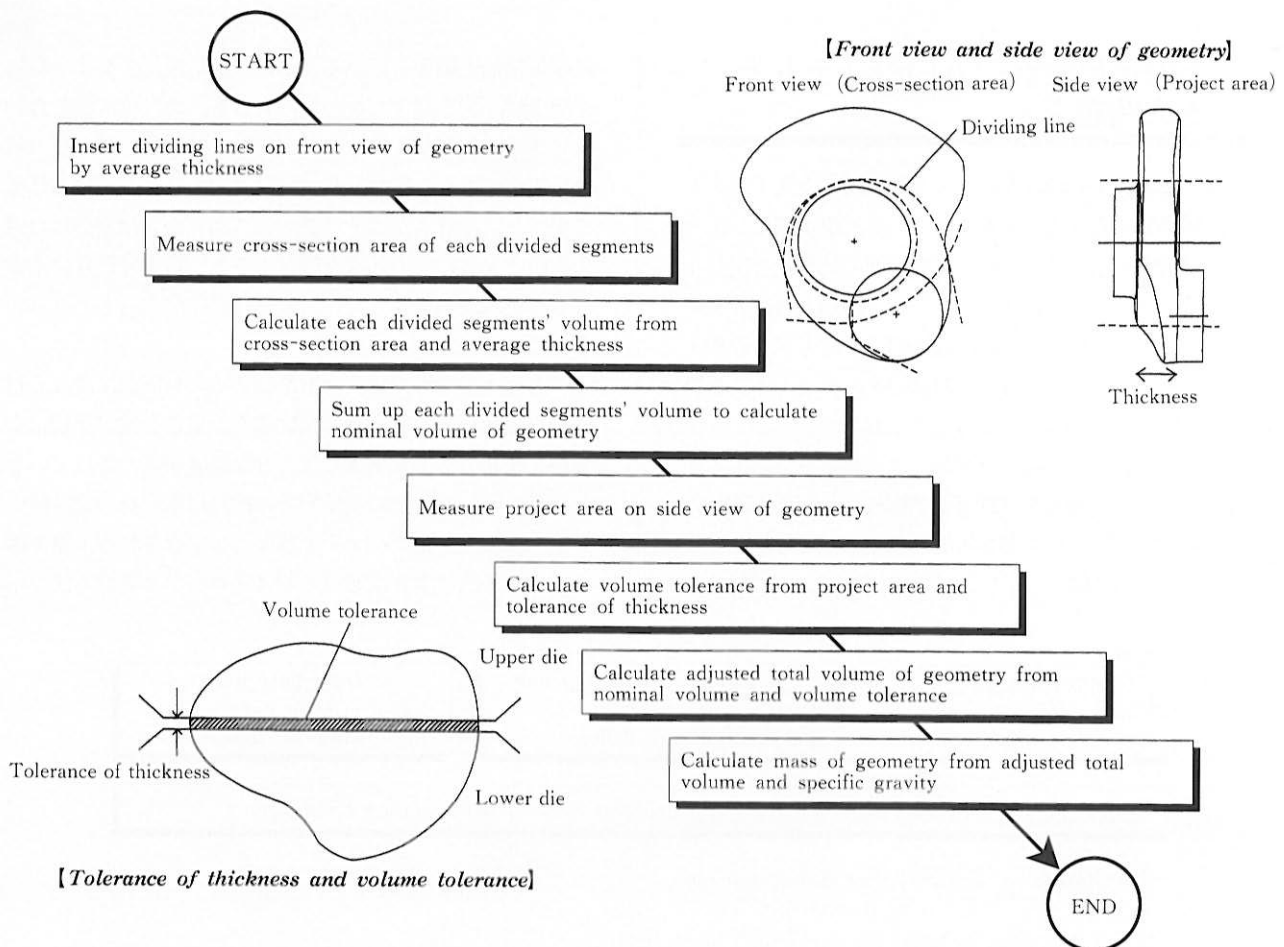
4. 素形材設計におけるマスペロパティ計算機能

4-1 新機能開発の背景

素形材設計にCADを適用する以前は、簡易面積測定器プラニメータ(写真1)でドラフタ上の図面をなぞり、面積を求め、手計算で重量を算出していた。CAD導入後は計算機画面に表示された対象形状を指示することで、面積は正確に算出できるようになったが、基本的に2次元上に展開された、平面の面積と、側面の厚みから重量を推定する手法を踏襲していたため、重量計算精度の向上は期待できなかった。

一方、3次元形状を計算機内部に完全に表現するソリッドモデルを適用し、直接重量計算を行う方法も提案されたが、形状の複雑なクランク軸の素形材を完全に定義することは難しい上に、作業工数の増大が危惧された。

筆者らのグループは、計算精度向上と作業工数削減のトレードオフを解消するため、2次元操作にてマスペロパティ計算可能な3次元形状を生成する手段として、ワイヤフレームモデルの適用を検討した。ワイヤフレームモデルは対象形状を直線や曲線で表現する手法であり、2次元で表



第4図 2次元手法による素形材のマスペロパティ計算方法
Fig.4 Mass-property analysis for die forgings with 2-dimensional method

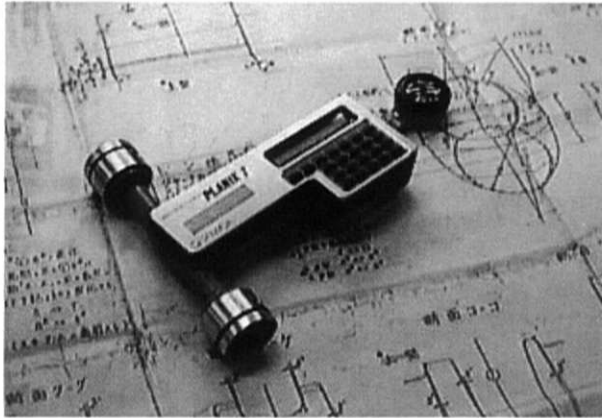


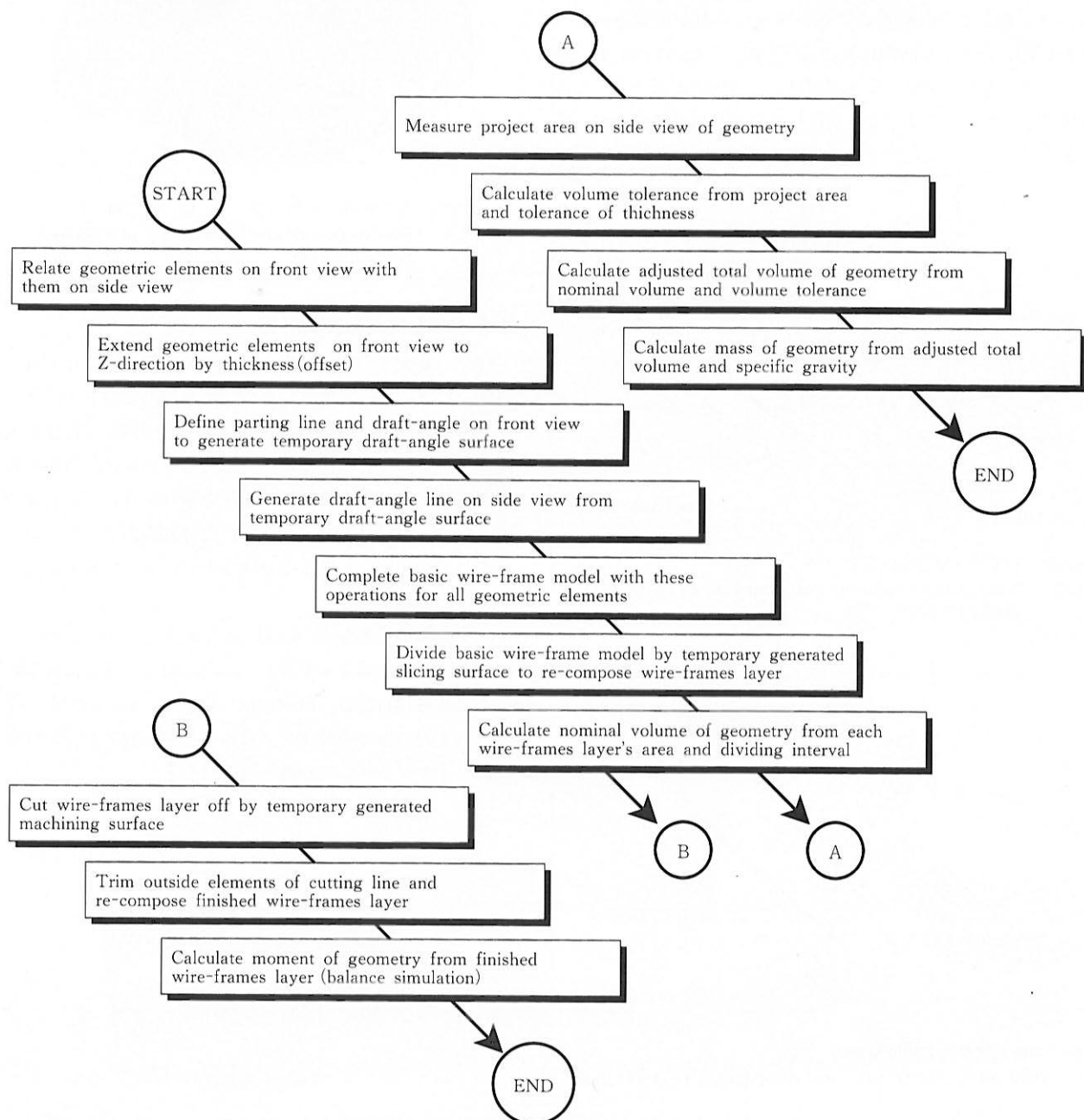
写真1 簡易面積測定器プランメータ
Photo 1 Digital planimeter

現された平面と側面との要素間の関係を結びつけることで3次元に組み立てることが可能となる。このワイヤフレームモデルは微小ピッチの切断面で分割することで積分可能となり、対象形状のマスプロパティを得ることができる。またこの手法を用いることで、熟練を必要とする、平面上の分割線挿入作業も不要になる等の効果も期待された。

4-2 3次元マスプロパティ計算の方法

4-2-1 重量計算

3次元手法による素形材のマスプロパティ計算方法を第5図に示す。まず素形材の平面と側面を2次元にて定義する。次に平面要素と側面要素の対応関係を指定することで



第5図 3次元手法による素形材のマスプロパティ計算方法

Fig.5 Mass-property analysis for die forgings with 3-dimensional method

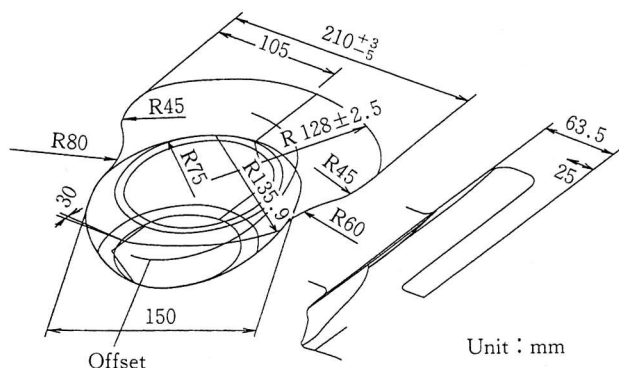
技術報文

厚みが取得され、厚み分だけ平面要素にオフセットを与える (第6図)。

さらに平面上の型割れ線、抜け勾配角度、および勾配方向の指定により、勾配面を一時的に定義し、側面上に投影される抜け勾配線を作成する (第7図)。以上の作業を全ての要素に施すことで、素形材ワイヤフレームモデルを完成させることができる (第8図)。

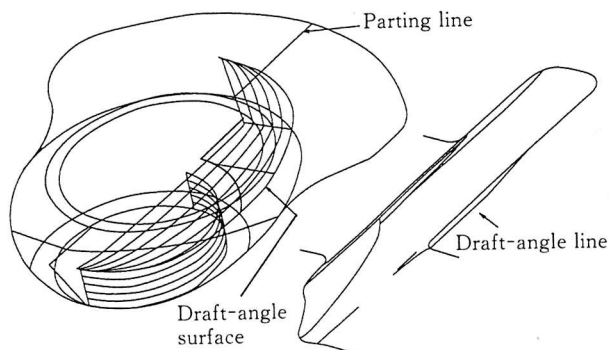
次に、指定ピッチで配列された切断面群を一時的に作成し、先のワイヤフレームモデルを分割する。分割された断面間は直線で近似するためピッチ幅を狭めることで精度は上がるが、計算時間と要求精度との兼ね合いで、現在は2mm~8mmピッチを設定してある。

最後に、切断面により分割されたワイヤの端点同士を直線でつなぐことで分割断面ワイヤフレーム群が生成され (第9図)、各分割断面の面積とピッチ幅との掛け合せ、およびそれらの積分演算により素形材の実寸体積が求まる。以後、従来と同一手法により素形材の重量を得ることができる。



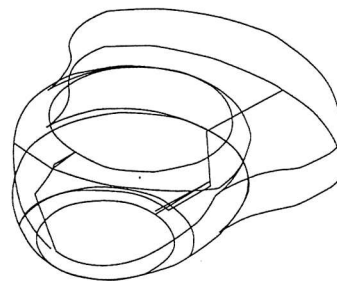
第6図 対象形状平面のオフセット

Fig.6 3-dimensional extension on front view of as-forged product model



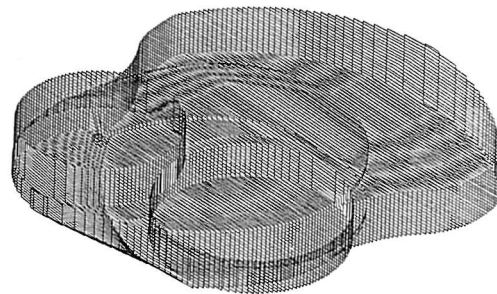
第7図 対象形状側面の抜け勾配線

Fig.7 Draft angle line on side view of as-forged product model



第8図 対象形状ワイヤフレーム

Fig.8 Basic wire-frame of as-forged product model



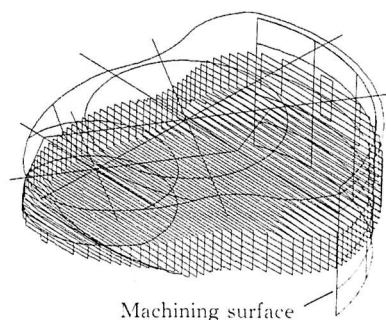
第9図 分割断面ワイヤフレーム群 (素形材形状)

Fig.9 Re-composed wire-frames layer of as-forged product model

4-2-2 動的バランス計算

現在、客先との間でクランク軸の最終製品形状を定義する際、要求に応じて種々の解析処理を行っているが、その中でも動的バランス計算は、クランク軸の回転安定性を決定する重要な検討項目である。最終製品形状は、素形材形状から抜け勾配を含む機械加工代を削り取ることで定義できるため、重量計算時に作成された分割断面ワイヤフレーム群を流用することで2度手間なモデリング作業を省略することができる。

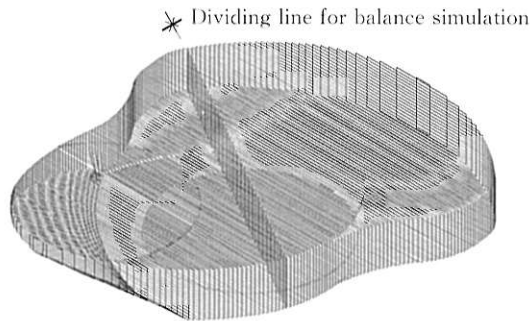
まず機械加工線から一時的に加工面を定義することで、素形材の分割断面ワイヤフレーム群に対し、さらに分割処理を加える (第10図)。分割されたワイヤの端点同士をつなぎ、加工面の外側の要素をトリムすると、製品形状の分割断面ワイヤフレーム群が残ることになる。



第10図 加工面の生成

Fig.10 Generating machining surface

また、後の検討作業の効率を考えた方向を指示することで、ワイヤフレーム群はさらに2分割されることになる(第11図)。以後同様な積分演算を施し動的モーメント特性等を得る。



第11図 分割断面ワイヤフレーム群 (製品形状)

Fig.11 Re-composed wire-frames layer of finished product model

4-3 システムの構成と適用効果

上記マシプロパティ計算機能をルーチン化することで、既存の型鍛造品設計CADシステムに組み込んだ。3次元手法を含む処理の流れを以下に示す。

まず、客先仕様、および鍛造条件等の入力により、「知識ベース部」、「データベース部」より設計支援情報が供給され、素形材の主要諸元が決定される。続いてその諸元に基づき、「CAD基本部」は素形材のプロフィールを自動作図し、図面レイアウトが決定される(第12図)。

設計者は型割れ線、抜き勾配線等を検討しながら素形材の図面を完成させていくが、3次元を意識することなく、自動的に計算機内部にワイヤフレームモデルを構築できることになる。

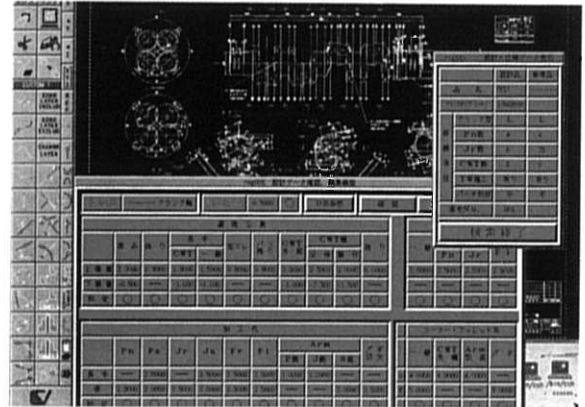
最後に、計算機内部のワイヤフレームモデルを用いてマシプロパティ計算を実行する。第13図に素形材の重量計算結果と動的バランス計算結果を示す。

なお、本システムを素形材設計に適用後、従来と対比し

て以下の効果が明確になった。

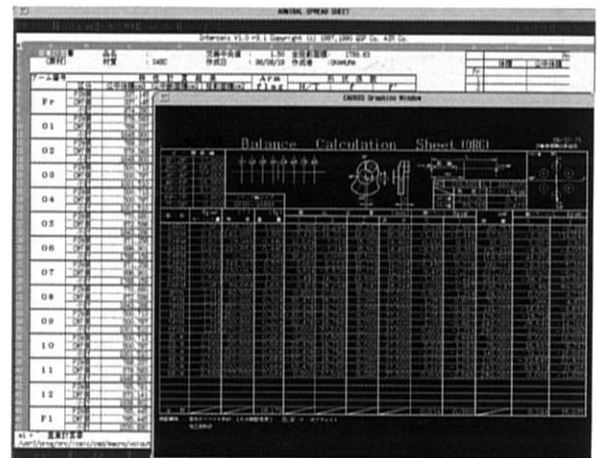
- ・工期短縮: 100 (外注写真含む) → 75
- ・精度向上: 2.6% → 2.2% (対実測誤差比)

また、参考までに型鍛造設計全体のシステム適用効果を第14図に示す⁴⁾。



第12図 知識ベース支援による素形材設計

Fig.12 As-forged product design with knowledge based CAD system



第13図 重量計算および動的バランス計算結果

Fig.13 Results of mass calculation and balance simulation

- | | | |
|-----------------------------------|---|--|
| ① Shortening design lead time | → | 25% Reduction |
| ② Saving tracing cost | → | 100% Reduction |
| ③ Standardization/Expert know-how | → | 50% Transferred
(into knowledge-base) |

Design process	Number of functions	Die forgings design time		
		Conventional way	Today	Future plan
As-forged product	26	100 (50)	75	65
Forging dies	Finisher	16	100 (70)	75
	Blocker	8	100 (70)	80
	Bender	8	100 (0)	80
	Reducer	10	100 (0)	50
Total (Including other dies)	113	100 (44)	75	55

(): Drawing time by drafter

第14図 型鍛造品設計CADシステムの適用効果

Fig.14 Effect of applying knowledge based CAD system for die forgings design

5. 将来構想

素形材のマスプロパティは客先見積りに利用されるだけでなく、後の金型設計においても重要な意味を持つ。現状では、素形材と金型彫部の断面積差異から、彫部に充填する材料の重量を推定することで金型形状を検討しているが、今後は3次元手法によるダイナミックシミュレーションが期待される。

本稿では、ワイヤフレームモデルを利用した方法について述べてきたが、金型設計まで通して3次元手法を適用するとすると、ソリッドモデルの方が全体工数的なメリットが大きいと考えられる。

一方、最近ではスケッチ感覚で形状定義、拘束条件を付加しながらソリッドモデルに容易に展開可能な寸法拘束型CADも低価格で提供されるようになってきた。その一部は既にWindows等の汎用プラットフォームに移植されており、既存のアプリケーションとの連携も容易に取れるようになっている。

今後はこのような次世代CADを吸収し、ソリッドモデルを核にした、型鍛造品設計から剛塑性FEM解析、および下工程の金型製作までの統合システム構築が望まれる。それを基盤に、さらなる全体リードタイムの短縮と品質造り込み技術の強化が期待できる。しかしその前には3次元設計の方法論確立という解決すべき大きな難問がある。

6. 結 言

3次元設計という言葉が使われだして久しいが、ここへ来て急にその気運が高まってきたように感じる。その背景には、インターネットの脅威的な普及、STEP(STandard for Exchange of Product model data)の整備、さらにはそれらを基盤にしたCALS(Commerce At Light Speed)の動きがあり、製造業界全体の枠組が大きく変化しようとしているからだと考えられる⁵⁾。

近い将来電子ネットワークを介した3次元CADデータによる客先・外注先との情報交換は常識になるかもしれない。これからも将来を見据えたシステム開発を進めていく考えである。



矢部 稔/Minoru Yabe

関西製造所 製鋼品事業所 関西
システム部 CAD・制御システム室
参事

(問合せ先：06(466)6263)

参考文献

- 1) 田村憲司, 肥田安雄, 福安富彦, 西口勝, 秋山雅義: クランク軸振り加工最適化のための型設計手法の開発と実用化, 塑性と加工, 36-419 (1995), p.1385
- 2) 矢部稔, 福安富彦, 谷元伸孝, 後藤隆: 型鍛造品設計におけるエキスパートシステム, 塑性と加工, 34-387 (1993), p.382
- 3) 伊藤浩一, 久光繁之, 向原誠, 西村正哉, 矢部稔: 型鍛造

品設計におけるエキスパートCADシステムの開発, 住友金属, 45-6 (1993), p.122

- 4) 肥田安雄: 鍛造用金型設計システム, 第111回I E・システム事例研究分科会資料集, (1995)
- 5) 木村文彦: STEPの技術的背景と将来の動向, 第69回インテリジェントFA研究例会資料, 96-2 (1996), p.1