遠心圧縮機の自動設計

金 木 忠*,
Tadashi KANEKI

横 山 英二*,
Eiji YOKOYAMA

1. ま え が き

設計業務における電算機の有効利用が叫ばれ始めてからすでに久しいが、この間電算機システムは初期の部分的な技術計算の時代から、設計者との対話形システムや、設計者を代行する自動設計システムへと発展してきた。

製品を設計するという立場から合理化、省力化を果たすには主に二つの方法があると思われる。その一つは徹底した標準化、シリーズ化であり、もう一つは自動設計への道である。その製品がいわゆる量産品である場合には主に前者が有効であろうし、一品生産の受注品である場合には後者が有効であろう。

本稿では筆者らの従事している完全な受注品であるプロセス用一軸多段遠心圧縮機の自動設計の例を紹介すると共に、一品生産品の自動設計の理想像について言及することにした。

ここでいうプロセス用とは、石油精製、石油化学、メタノール、アンモニア、尿素などの合成化学、天然ガスの液化、再注入などに用いられる遠心圧縮機をさすものとする。これらの用途に用いられる遠心圧縮機はそれぞれのプラントにおける最重要機器の一つであると同時に、例え同一のプロセスに用いられるものであっても、各プロセスオーナーの考え方、精製量、合成量、反応圧力、ガスやユーティリティの相違などにより、すべて、もしくは若干なりとも、圧縮機仕様が異なるものである。

また、もし万一事故が発生すると、付近の住民の生命や自然の破壊につながり、プラント自体の存立にかかわるケースが多いことから、機器の信頼性への要求もますます厳しくなっており、さらに昨今のプラントの巨大化、合理化、そして新しいプロセスに対する迅速なケーススタディの

必要性などから、従来にも増して信頼性と迅速さ、しかも詳細な検討が必要とされるようになった。

2. 遠心圧縮機的设计手順

注文設計の際の代表的な設計手順を図1に示す。設計作業は流体設計、強度材質設計、軸受、シール部などの機構設計、危険速度やアンバランス応答などの振動設計などからなっている。

従来の設計手法は、一部電算機の助けを借りてはいるが、本質的な判断は各設計者にゆだねられており、各設計者の個人差がそのまま製品の品質

図1 一軸多段遠心圧縮機の代表的な設計手順（流体性能、強度、振動などの計算結果による修正、又は最適化ループを←で示す）

* 正員、日立製作所土浦工場（〒300 土浦市神立町603）。

に反映すると共に, 新しいプロセスに用いられる場合のケーススタディなどに多大の設計時間を費やしていた。さらにこれらの流体, 強度, 材質, 振動などの全く異なるカテゴリに属する設計業務それぞれが十分な経験に裏づけられた高度の判断力を要求されることはもちろんであるが, 全体としてバランスのとれた設計となっていることが最も重要なことであり, 仮に全体の設計見とおしを誤ると, 回転機械としての基本的な必要条件すら満たし得なくなることがあり得る。

3. 自動設計の理想像

自動設計の理想像とは何かという問いに対する筆者らの考え方を提示しておきたい。結論から述べると, 図2に示す業務(A)から(D)をすべて一つの大型電算機システムでなし遂げるものと考えている。すなわち, ある製品に対する顧客仕様をインプットすることにより, すべての判断業務, 計画業務, 計算業務, 最適化業務をシステムの中で総合的にを行い, しかも製作図, 製作計画まで行うものが理想的な自動設計システムである。このような理想像を実現するために, ステップ(A)からステップ(D)までの四つのステップが考えられる。

3.1 ステップ(A) 電算機による技術計算といわれるものがこれに相当する。強度計算や危険速度などの振動計算それ自体であり, 例えば有限要素法などの複雑な計算であっても, 計算結果が該当する部品の応力やひずみを与えるのみであり, それに伴う判断業務を行わない限り, 自動化という意味ではこのステップにとどまっている。この段階では設計者は製品の計画図を引きながら, これらの単一プログラムを必要に応じて駆使し, 計画寸法を図面の上で何回も変えながらそのたびにプログラムによる計算を行い, 製品計画を進めることになる。そして計画が行き詰まったり, 不具合が生じたりすれば, 上長(例えば設計主任)の判断をあおぐことになる。

3.2 ステップ(B) こ

のステップは前のステップ(A)に, 各計算結果に対する判断業務が追加されており, 計算機側からのリコメンドがある場合である。例えば, 有限要素法によりある回転体の各部の回転応力を求める場合, 回転体の形状をインプットすれば, 計算機が自動的に要素分割を行い, 応力を計算し, さらにある部分の応力が材料の許容応力を越えたとすると必要な部分の肉厚を増減したり, 寸法を変えたりして許容値内に入れる努力を行うシステムをさす。このステップ自体では流体, 強度, 振動などそれぞれのカテゴリ内での最適化は考えているが, カテゴリ間の最適化には及んでいない。このステップは設計室ではいわば設計主任の業務を代行する。

3.3 ステップ(C) この段階は, 製品全体としての構造を踏まえ, どの部品のどの寸法をいくら変えれば, 流体性能がどう変わり, 振動の形態はどうなるか, といったようなカテゴリ間の影響度はすべてはあくされておき, 顧客の仕様に完全に合わせるための総合的な最適化業務を行うステップである。この判断にはすべての設計業務に精通し, しかも最新の技術を取り入れるばかりでなく, 生産技術, 治工具の有無, 原価, 納期, さらに製品戦略まで考慮する必要がある。

この業務は設計の最も重要な, 中心的業務であり, いわば設計課長のなすべき業務といえる。それゆえ, 自動設計の最も到達し難い, しかも仮に到達できれば最も魅力的なステップともいえる。

3.4 ステップ(D) ステップ(C)までで決定された製品計画を製作図に分解し, 必要であればN/C(数値制御)機械用のデータをアウトプ

図2 自動設計のステップ

ットするステップである。このステップはいわば設計ドラフトマンの業務の肩代わりであり、いわゆるケアレスミスのもも起こりやすい部分であるがゆえに、自動化の効果が最も出やすいステップでもある。

システムの開発に当たっては以上のような四つのステップをよく認識し、どのような開発手順で進むかを見極めておくことがたいせつである。製品によってはステップ(B)やステップ(C)のシステム化が不可能に近いケースもあり得る。このような場合は対話形システムとしてステップ(A)とステップ(D)を完全にシステム化し、ステップ(B)やステップ(C)に相当する人間の判断を途中で与えながら設計業務を遂行するという方法が採られ得る。しかし自動設計(Design Automation)という言葉は(A)から(D)まで自動化できたときに与えられるべきであって、対話形システムの場合は設計の自動化(Computer Aided Design)という言葉が適切であろう。

いずれにせよ、自動設計なり自動化なりをめざす場合の前提として、製品の設計思想や実際の機能、性能が定量的にはあくされていなければならない。

また、開発に当たっては、開発に要するマンパワーと、開発によって得る合理化の効果を正しくはあくしておくこともたいせつである。高度の判断業務を必要とする設計主任などの業務がオーバーフローしやすい設計室ではバッチシステムによる自動設計の道へ進むべきであり、ドラフトマンが不足している場合にはステップ(D)を中心とする製図の自動作画をまず手掛けるほうが早く効果

が現れることもある。

筆者らの従事している遠心圧縮機の設計部門においても自動設計や自動化への模索をつづけてきた。われわれの場合には最適化へのプロセスが極めて複雑で多岐にわたるので、仮に対話形とした場合、対話する設計者の判断により、設計される製品の質がまちまちとなり、設計上のバランスを失い、さらには設計思想の統一すらできないのではないかというのがその結論である。また、往々にして人間は思考を最後まで継続できることはまれであり、設計される機械が難しいものであればある程、人間は基礎となる設計思想や基準を逸脱し、安易な結論に流れやすい。特にステップ(B)や(C)における中途半端な決定はでき上がった製品が自らそれを証明するものである。このようなことからステップ(A)から(D)までのトータルシステムとしての自動設計の意義が決定的となるわけである。

つぎにシステムの開発に当たっては開発されたシステムの寿命を考えておく必要がある。どんなに優れたシステムであっても、技術は日進月歩であり、必ず時代遅れのシステムとなる時期がくることを開発担当者は肝に銘じておかねばならない。現在の技術のみを対象としてシステムを構成したとすれば、システムの完成するころにはもはや使いものにならなくなるかもしれない。いかにして将来の技術を予測し、それに合ったシステム構成とするかが開発担当者の腕の見せどころであり、システムの生死がそれにかかっているといっても過言ではない。

図3 自動設計された8段遠心圧縮機のXYプロッタによる計画図の自動作画例

4. 遠心圧縮機の自動設計の例

筆者らは1, 2で述べた一品生産の遠心圧縮機の自動設計 (Design Automation) が果たして可能かという疑問を抱きながらも, 自動設計システムの開発の道を歩みつづけ, ここにその一応の成果を得た. 本システムは図1の設計手順をすべてパッチ形による自動設計としてなし遂げるものであり, 顧客仕様をインプットデータとしてすべての設計計算, 判断業務, 最適化処理業務を含んでいる. すなわち図2の(A)から(D)までの四つのステップをほぼ完全にシステム化したものである.

図3は本システムにより設計された遠心圧縮機の計画図の例であり, XYプロッタで自動作画されている.

圧縮機ロータのアンバランス応答計算結果の例を図4に示す.

自動設計された遠心圧縮機の設計書としてはラインプリンタが用いられており, 最適化処理が完了したあとの性能計算, 強度計算, 振動計算などの結果が打ち出され, さらに各部品の寸法がアウトプットされている.

本システムの完成後, この種の一軸多段遠心圧縮機のほとんどすべてが本システムを用いて設計され, すでに数十台の圧縮機が現地で好調なか動を続けている.

本システムは設計者の勘や経験にたよる設計ではなく, いつも同一の, しかも考えられ得る限りの最高の判断と信頼性をもって設計するものであり, さらに直接製作図やN/Cテープとも連結しているため, 設計に起因するミスは皆無となり, 生産技術や治工具をも勘案されているので現場のミスもほとんどなくなった. また1台の遠心圧縮

機の設計がほぼ半日で終わるので緊急を要する見積設計業務にも使えるようになった.

5. システム開発後の問題点

筆者らは理想的な自動設計システムとは何かを模索しながら, それに一步でも近づけるべく前章で紹介したようなシステムを開発し, 一応の成功を収めたと考えている. ここでシステム開発後の問題点や今後の課題について述べ, 読者諸賢の参考に供したい.

その第一はシステムのメンテナンスの問題であり, 3で述べたようにシステムがいつも最新の, 最高のものであるための技術データの改訂が必要

図4 アンバランス応答計算結果の例 (XYプロッタ)

である。この業務は開発業務に比べると地味でめだたないものであるが、システムを維持していくためには必要欠くべからざる仕事である。

つぎに設計者の教育の問題がある。システムの完成により、多くの設計者は明日の製品ののための開発業務を中心とするようになり、レベルアップを要求される。自動設計により設計者の仕事が奪われたのではなく、設計者を本来の創造的な、人間らしい仕事に向けつつあると考えているがいかかであろうか。

6. あとがき

以上、遠心圧縮機の自動設計の実例を紹介し、自動設計の理想像について述べた。

電算機を主役とする自動設計の分野における進歩はめざましく、信頼性、迅速という面で画期的

な設計形態を生み出すことはこの例から見てももはや異論をさしはさむ余地がないであろう。

しかしひるがえって考えてみると、システムを構成する真の主役はやはり人間であり、人間が電算機に使われるのではないことをはっきりと再認識しておかねばならない。すなわち、電算機の有効利用によって生ずる新たな時間を、人間がいかかに創造的な仕事に振り向けるかは各設計者の意志と教育によって決められるものであることを述べて結びとしたい。

紙面の都合で自動設計の実例の詳細が紹介できなかったことをおわびする。

(原稿受付 昭和52年12月5日)

参考文献

- (a) 金木, ターボ機械, 5-9 (昭 52-9), 36.

科学技術白書発表(その2)

(440 ページより)

第2章 科学技術活動の停滞=省略

第3章 技術開発推進への課題=これまでわが国の科学技術の発展を支えてきた重要な要素の一つである。海外からの技術導入がしだいに困難となりつつあること、さらに海外の技術に依存するだけでは対応できない資源・エネルギー、環境・安全、保健・医療などの問題が増加していることから、わが国独自の技術開発を進めていくことが不可欠である。

しかし、一方、技術開発の大きな原動力となる研究開発資金の確保に制約が加わっているため、今後はとくに研究開発資金の効率的な運用と、これによる効率的な技術開発を進めることが強く要請されている。

効率的な技術開発を進めるために重視すべき主な課題として (1) 各分野に要求される多様な人材の育成、(2) 研究投資、人材などの技術開発のための投入資源の最適配分と効率的運用、(3) 科学技術情報流通体制の整備、(4) 国内技術移転の促進——の四点があげられる。そのうち国内技術移転は当面、即効性のある一つの対応措置である。

技術移転の具体的な効用として (1) 研究投資の重複を回避することができる、(2) 各企業の保有する技術を相互交流し補完しあうことにより科学技術の高度化、複雑化に対応した効率的な技術開発を進めることができる、(3) 相対的な水準の低い分野が多い中小企業の

技術水準と技術開発力水準の向上に寄与する、(4) 産業分野の技術を移転させることによって住生活の改善、環境保全、事故、災害の防止、医療・福祉の充実といった、いわゆる社会開発分野の技術進歩をはかりうる可能性が大きい——などが指摘されている。

わが国の民間企業1社当たり技術移転件数は年間2件程度で推移しているが、民間企業は今後社外技術を活用することに強い意欲を示しており、技術移転を推進する上で支障となるのは (1) 技術評価の困難さ、(2) 技術情報の交換の場の不足、(3) 技術移転による独自性、優位性喪失に対する不安感——の三点である。

技術移転の具体例としては、性フェロモンの合成および製品化技術、ロータリエンジンの開発、電子写真けがき法の開発などがあげられるが、これらが成功したのは (1) 導入者、提供者の双方におう盛な開発意欲があったこと、(2) 導入者、提供者間の共同研究、技術指導による密接な相互協力関係があったこと、(3) 導入者、提供者間の橋渡しを行う仲介機関が重要な役割りを果たしたこと、などが特徴である。

今後の課題としては (1) 技術移転促進のために提供者、導入者の双方が技術移転についての認識を深め体制の整備をはかる、(2) 技術情報の提供、利用、あっ旋など技術情報流通機能の充実をはかる、(3) 共同研究などの推進をはかる——などがあげられる。

[服部 敏夫]