

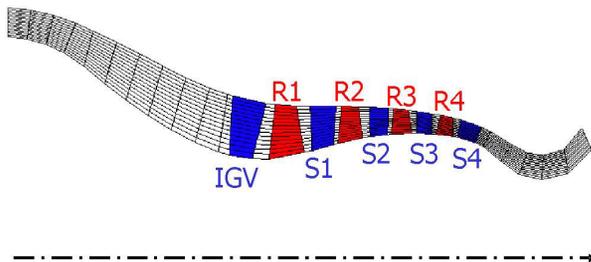
設計の最適化について (3)

前回、前々回と設計最適化問題とそれを解くための最適化手法についてお話しさせていただきました。今回は実際に多目的最適化問題に最適化手法を適用して解いた例をいくつかご紹介します。

1. 航空機エンジン圧縮機の空力最適化

はじめに、航空機エンジン圧縮機の空力設計最適化問題に最適化手法を適用して解いた例を挙げる。ここで対象とするのは図1に示す4段の軸流圧縮機である。設計問題を定式化すると以下のようになる。

- 設計目的： 全圧比の最大化
圧縮効率の最大化
- 制約条件： 発散係数<0.55
- 設計変数： 全圧とソリディティ（動翼）
流れ角とソリディティ（静翼）



Baseline design and computational grid

図1. 4段軸流圧縮機の流路の断面図
Inlet Guide Vane と四つのRotor
および Stator からなる。

航空機エンジン用圧縮機には全圧比をなるべく大きくしたいという要求と効率をなるべく大きくしたいという要求があり、唯一の最適解ではなくパレート最適解群（妥協解群）を持つ。よって、パレート最適解群を効率的に得ることができる多目的進化アルゴリズムを使って最適化を行う。設計候補の全圧比および圧縮効率は数値流体力学 (CFD) で求める。設計変数はスパン方向5点で定義された8つの翼のソリディティおよび全圧（動翼）もしくは流れ角（静翼）分布である（トータルの設計変数の数は80）。計算時間はSGI ORIGIN 2000 で約28時間であった。

得られたパレート最適解群の効率および全圧比を図2に丸で示す。初期設計に比較して優れ

たパレート最適解群が得られていることがわかる。同じ図で四角で示すのは勾配法による最適化により得られた最適解である。多目的問題を単目的問題に変換する際に用いられる係数を11通りに変えることで11個の個体を得ている。この図からも勾配法ではパレート最適解群を一樣に得ることができていないことがわかる。白抜き丸で示しているのは勾配法で得られた解をさらに進化アルゴリズムで最適化して得られた最適解群である。少ない空力評価回数でより広範囲にわたるパレート最適解群を得ている。勾配法はパレート最適解群を効率的に得ることは難しい反面、局所的な探索には優れているため、勾配法と進化アルゴリズムのハイブリッド化は最適化手法の効率を向上させる上で大きな可能性を秘めている。

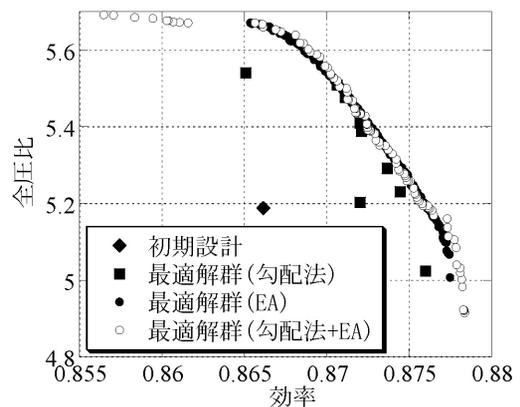


図2. パレート最適解群の分布

2. 遷音速翼の複合領域最適化

次に、図3に示す翼平面形を持つ航空機主翼の複合領域設計を考える。航空機主翼の設計においては、空気抵抗をなるべく小さくしたい、構造重量をなるべく小さくしたいというふたつの相反する目的がある。最適化問題を定式化すると以下のようになる。

- 設計目的： 空気抵抗の最小化
構造重量の最小化
- 制約条件： 一定の揚力を持つ
応力が許容応力を超えない
- 設計変数： 各翼断面の形状パラメータ
各翼断面のねじり角

ここで、翼断面形状は図4に示す10変数で表現することにする(ΔZ_{TE} は0に固定)。翼断面形状パラメータとねじり角は4つの翼幅位置で定義され、合計の設計変数の数は43となる。空気抵抗および揚力はCFDで求めることとし、翼の重量および翼にかかる応力はWing boxを片持ち梁と仮定して材料力学的に求める。揚力に対する制約条件は迎え角に対して揚力が線形に変化することを利用して迎え角を変えることにより満たす。設計目的が二つあるため多目的進化アルゴリズムを使って最適化を行う。

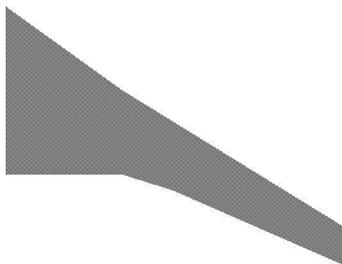


図3. 翼平面形状

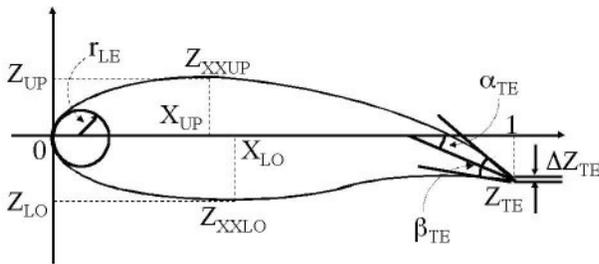


図4. 翼断面のパラメータ化手法

最適化により得られたパレート最適解群の空力抵抗係数と構造重量をプロットしたものを図5に示す。この図から二つの目的間のトレードオフ情報を見て取ることができる。参考のため、Boeing747主翼のデータを四角で示す。

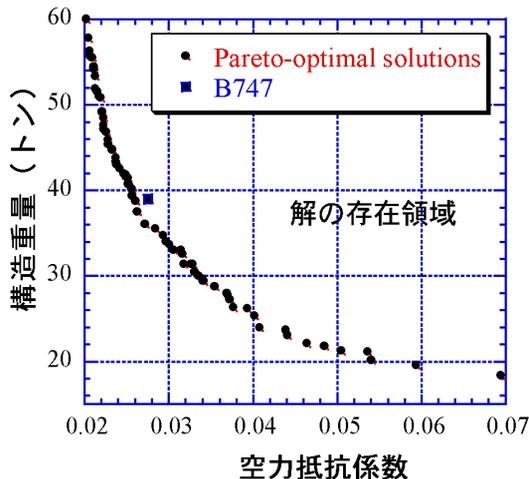


図5. パレート最適解群の分布

これらの解の中から抵抗が一番小さい解(重量は最も大きい)、重量が一番小さい解(抵抗は最も大きい)、および抵抗も重量もほどほどに小さい解の揚力分布を図6に示す。抵抗最小の解は理論的に誘導抵抗が最小になることが知られている楕円分布になっている。一方、構造重量を減らすためには翼根でより揚力を稼ぐ必要があることもわかる。

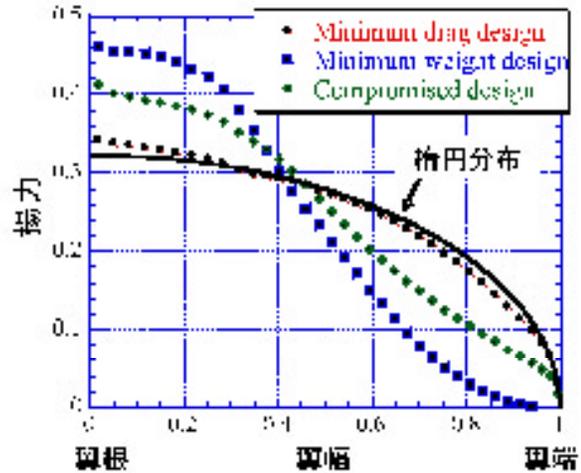


図6. 最適翼型の揚力分布

3. 環境適応型高性能小型航空機の主翼複合領域設計

最後に、三菱重工業・JAXA・東北大学などで設計を行っている30-50席クラスの小型ジェット機主翼の複合領域最適設計の例を挙げる。最適化問題は以下のように定式化される。

- 設計目的:
- 消費燃料の最小化
 - 最大離陸重量の最小化
 - 発散マッハ数抵抗の最小化
 - 翼構造重量の最小化
- 制約条件:
- フラッタ速度
 - 構造強度
 - 後桁高さ
 - 前後桁が翼幅方向に単調減少
 - 必要燃料重量 > 搭載可能燃料重量
 - 発散マッハ数揚力
- 設計変数:
- 翼形状パラメータ
 - Wing boxの板厚

構造強度およびフラッタ解析にはパネル法および市販のNASTRANを用い、空力性能の計算にはCFDを用いる。消費燃料および最大離陸重量は機体重量・空力性能・翼平面形状から経験式により求める。最適化のフローチャートを図7に示す。ひとつの設計候補の計算時間はNEC SX-5を使って約4日である。

最適化により得られたパレート最適解群の分

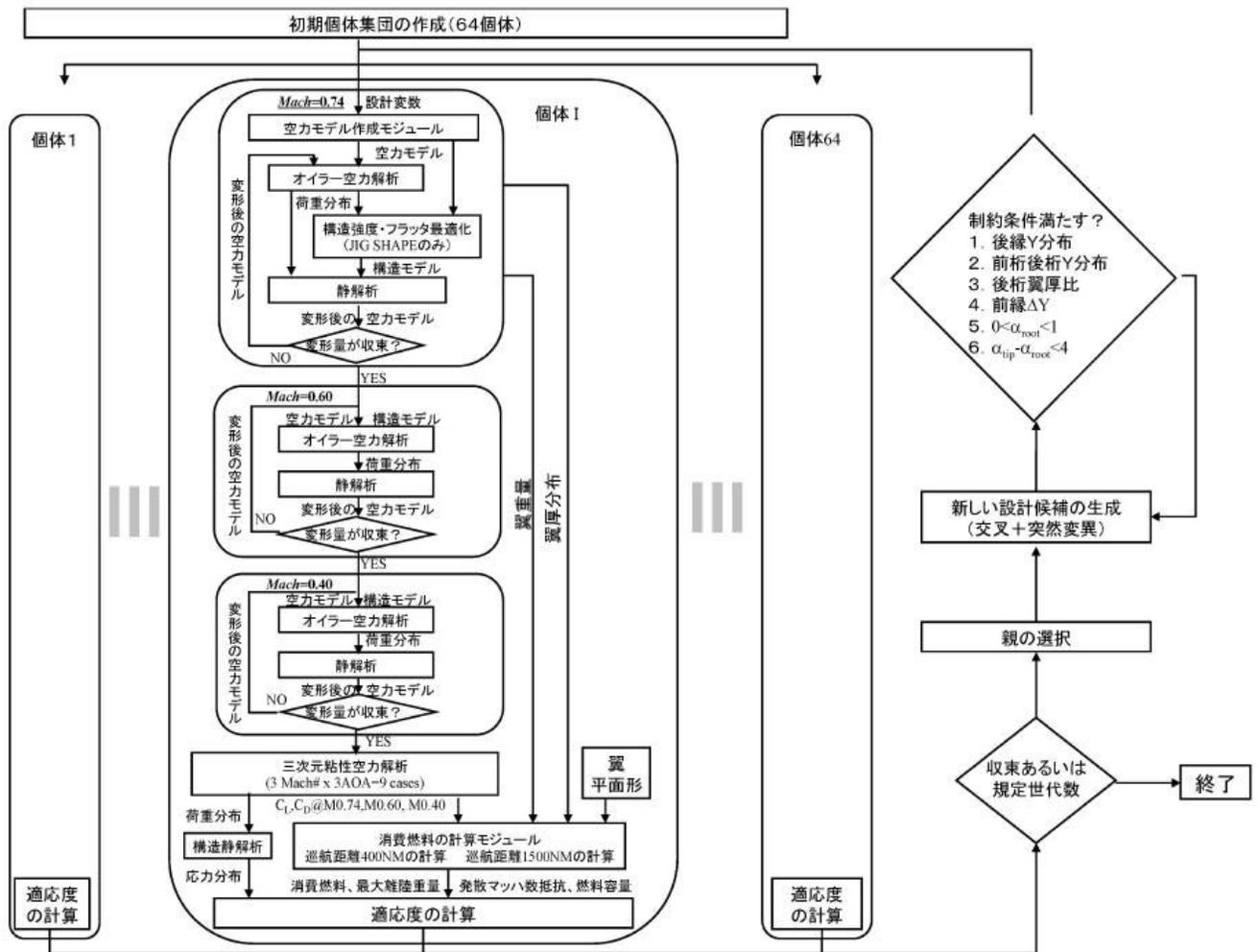


図7. 最適化のフローチャート

布を図8に示す。今回の手法ではそれぞれの設計候補について構造重量を最小化して翼構造を決めるため、消費燃料、最大離陸重量、発散マッハ数抵抗の三次元分布で示す。まだ計算途中であるため明確なトレードオフ情報は得られていないが、計算を進めれば、これらの目的関

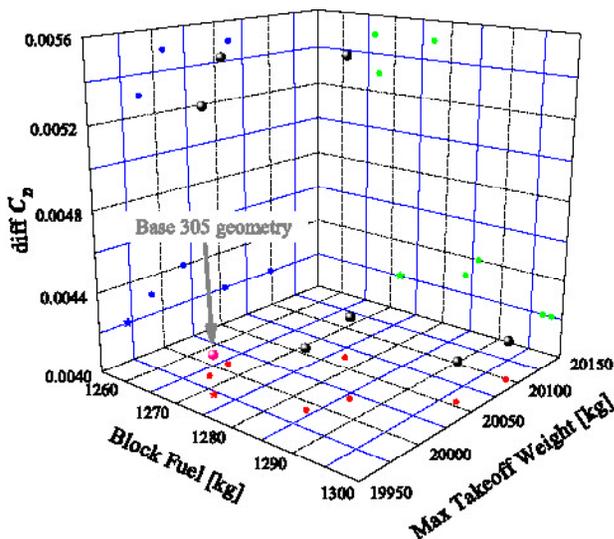


図8. パレート最適解

数間のトレードオフ情報が得られると考えられる。

4. おわりに

以上、最適化問題、最適化手法、および最適化手法の適用例について簡単に説明させていただきました。最適化問題は工学・理学のさまざまな場面で表れます。これらの最適化問題を解く上で最適化手法は大きな助けとなります。

最適化手法をこれから使ってみようと思われる方はPLAINセンター所有の商用最適化ソフトウェアiSIGHTを使ってみるとよいと思います。また、iSIGHTのテキストには最適化手法についての基礎がわかりやすく書かれているので、参考になるかと思います。多目的最適化問題によく使われる進化アルゴリズムについて詳しく勉強したい方はKalyanmoy Deb著のMulti-Objective Optimization using Evolutionary Algorithms (John Wiley & Sons, Ltd)をご一読されることをお勧めします。

(宇宙輸送工学研究系・大山 聖)

ADASS 2004 雑感

10/24-10/27 にかけて、米国のカリフォルニア州、パサデナで開かれた天文データの解析ソフトウェア、システムの会合、The Astronomical Data Analysis Software and Systems (ADASS) 2004 に出席してきました。これは、世界から、ざっと 300 人程度の研究者、開発者が集い、自分たちが作ったシステムや、これから作るシステムについて発表、意見の交換を行う集まりです。このうち口頭発表は 30 人程度で、多くはポスター発表です。このほかに、作成したソフトウェアやシステムのデモンストレーション、特定のトピックの議論を加え、ほとんどパラレルセッションなしに、合計 3 日半の日程に詰め込まれています。そこで、昼食をとりながらデモンストレーションを見て、おやつを食べながらポスター発表を聞くという具合です。

発表の中には、同じ目的のシステムが多々見受けられます。同じように見えても、実現方法まで考慮すると、それぞれ個性を持っていることがわかります。堅い(古臭い)作り方をしているものから、先進的な(数年後あるかわからない)作りかたをしているものまで、目的を X 軸に、作り方を Y 軸にとってプロットすれば、散らばった分布が見られるでしょう。クリアな概念で物事を切り出しているものは稀です。他にも適用できるという趣旨のもの(その多くは他に適用されることはない)や、特定目的でしか使えないものなど、全体では末広がりな構成になっています。

今年の、ホットな話題は、やはり VO (仮想天文台) です。今回は発表の 5 分の 1 強が VO

がらみだそうです。VO は、「天文学コミュニティの情報化」と言い代えることもできます。VO という言葉からは、天文学者が居ながらにして、いろいろなデータに触れ楽しむ姿が連想されます。一方、情報化という言葉からは、業務フローをシステム化するプログラムの姿が目には浮かびます。実際のところ、これは、観測から研究に至るデータの流れの中にある、多種多様無数な電子化された情報、電子化されていない情報をつないでいく、有機的で、地道な課題なのです。

VO は、現在 Web Service を用いた計算機と計算機の会話のしかたで合意が形成され、これを実装したシステムと、その科学的成果のデモンストレーションが始まった段階です。これらは、力技で作成されたもので、広げていくためにはいくつもの課題が残されています。一つ一つの処理のステップは、今も、昔も、同じくらいシンプルなものですが、繋ぐことで問題が複雑化しているのです。長く使われてきた、天文標準のデータフォーマット FITS でさえ、今回も含め議論が続いています。データのみでなく、処理方法をユーザとサーバで共有するため、「python」という名前のスクリプト言語に着目している人々がいます。今後、どう部品を作り組み合わせて VO を実現していくのか? 私の発表は、そういう部品の一つを示したものでした。VO は、研究で用いるものですから、ブラックボックスではなく、普通の研究者が理解可能な形で発展させて行きたいと、痛感しました。

(松崎 恵一)

大型計算機に関するお知らせ

申請・相談窓口等について

●計算機室関連

申請受付: 計算機室 山本 (RN 2103・内線 8388)

詳細 (ISAS LAN 内限定):

<http://www.pub.isas.jaxa.jp/net/>

<http://www.pub.isas.jaxa.jp/cc/>

下記の各申請を受け付けています。

- ・ ISAS ドメインメールサービス
- ・ 解析サーバ
- ・ ISAS LAN ネットワーク接続

計算機等利用上の質問・トラブルなどはシステム・プログラム相談室 (RN 2113・内線 8391) 迄、ネットワーク関係の質問・トラブルなどは

PLAIN センター本田秀之 (RN 1261・内線 8073) 迄お願いします。

●スーパーコンピュータ

詳細:

<http://www.isas.jaxa.jp/home/plain/cpis/>

下記の申請を受け付けています。

- ・ JAXA 内の利用申請

お問い合わせは isas-cc@plain.isas.jaxa.jp 迄お願いします。

●その他の情報システム関連

詳細 (ISAS LAN 内限定):

<http://www.pub.isas.jaxa.jp/>

(三浦 昭)