

Title	マルチリンク式サスペンションを用いる乗用車の操縦 安定性についての総合最適設計に関する研究
Author(s)	藤田,喜久雄;廣川,敬康;赤木,新介他
Citation	日本機械学会論文集 C編. 1999, 65(637), p. 3861-3868
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/2936
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

3861

マルチリンク式サスペンションを用いる乗用車の 操縦安定性についての総合最適設計に関する研究*

藤田 喜久雄 廣 Ш 平 田 赤木 新介 教‡

Total Design Optimization of Multi-Link Suspension System for Vehicle Handling and Stability

Kikuo FUJITA *, Noriyasu HIROKAWA, Shinsuke AKAGI and Takanori HIRATA

* Osaka University, Dept. of Computer-Controlled Mechanical Systems, 2-1 Yamadaoka, Suita, Osaka 565-0871, Japan

This paper discusses the design problem of vehicles using multi-link suspension system with the aim of totally optimizing vehicle handling and stability. Since this problem includes many evaluation items, and multi-link suspension system has interconnected behavior, the optimization is so complicated. An efficient and computable model is indispensable for compromising the total optimization. This paper investigates a hierarchical structure of objectives, introduces appropriate simulation models for respective items, and formulates a mathematical optimization model based on them. Further, we apply a genetic algorithm based optimization method to this problem. The genetic algorithm is based on Simple GA and introduces several extensions such as fitness function for constrained multi-objective optimization problem, similarity-based selection, direct crossover within side constraints, etc. The result of optimization calculation shows the validity of the optimization model and the optimization algorithm as a mathematical computation based design methodology.

Key Words: Design Engineering, Optimal Design, Modeling, Multi-Link Suspension, Vehicle Design, Genetic Algorithm, Multi-Objective Optimization

1 緒言

自動車において用いられるサスペンションは車両 と路面とのインターフェースを取り持つシステムであ り, 求められる機能には操縦性・安定性・乗り心地な どの多岐にわたる内容が含まれている(1)~(3). そのよう な内容を総合的に優れたものとするためには, メカニ ズムであるサスペンションそのものの設計自由度を向 上させることが前提となることから,原理的にはパラ レルリンクメカニズムの特殊なものに相当するマル チリンク式サスペンションが高級車を中心に利用され るようになっている.その反面,そのようなサスペン ションにおける形状寸法などを具体的に設計する場合 には, 多様な内容に広く対応できる自由度を伴ってい るために,見通しの良い設計を行なうことが容易では なくなっており,効率的な設計を行うには,潜在的な 総合最適性を具体化するための設計方法が求められて いると言える.

本研究では,以上のようなマルチリンク式サスペン ションを用いる乗用車の操縦安定性を総合的見地から

‡正員, マツダ株式会社 (〒 735-0028 安芸郡府中町新地 3-1).

È-mail: fujita@mech.eng.osaka-u.ac.jp

効果的に最適化しようとする設計問題を取り上げて、 あらかじめ構造の定められた機械システムの内容のな かから最適設計の対象となる部分を見つけ出した上 で、そのような部分設計問題を最適化するまでに至る 過程についての方法論について論じる.具体的には, 設計対象を表現する設計変数から具体的な運用状況に おける評価項目に至るまでの諸内容を階層的に構造化 した上で、そのような情報をもとに最適設計が適用可 能な部分を選び出し、さらに、そのような最適化問題 が多くの場合,規模の大きな制約条件付き多目的最適 化問題となることから,遺伝的アルゴリズムに基づい た一最適化法を適用することにより一連の設計解を求 めることができることを示す.なお,このような設計 の枠組は,様々な機械システムが複雑化し高度化して いる現状を考えれば、マルチリンク式サスペンション の設計問題に限らず,広く有用な方法論としても体系 化されるべきものである.

2 システム設計の視点からみた サスペンションの諸方式

緒言でも述べたように,高級車を中心にマルチリン ク式サスペンションの導入が進められているが,その

^{*}原稿受付 1998 年 6 月 25 日

[†]正員, 大阪大学大学院工学研究科 (〒 565-0871 吹田市山田丘 2-1) .

理由は多様な性能項目に対する設計自由度が高いことによる.

単純なシステムと複雑なシステムとの設計上の根本的な違いは、前者においては、設計項目と機能項目の間の関係が比較的独立的であり、個別項目毎に設計を行うことができるが、後者においては、相互干渉の強い構造を反映して項目間の関係が込み入っており、設計項目間のトレードオフが直接的でない点にある。一定サイズのシステムの中に同様の構成要素を用いてより多くの機能を高いレベルで組み込もうとする場合には、このような複雑化の傾向が強いように思われる。

以上のことは,乗用車に用いられるサスペンション についても,当てはまる.乗用車は直進したり,曲 がったり,止まったり,さらには,平坦な路上を走っ たり,悪路を走ったり,様々な状態で動作する.一 方, サスペンションにはいくつかの形式のものが存在 し(), その性能は全体形式の選択と構成リンクサイズ の調整によって定まるものである. 個別の動作モード に着目した場合,比較的単純な形式を用いれば,その 特定モードにおいて理想的なサスペンションジェオメ トリを構成すること, すなわち, 設計項目と機能項目 との直接的な関係に基づいてサイズの調整を比較的 容易に行えることが期待できる.しかし,すべての状 況に対して総合的に優れた性能をもつサスペンション を得るためには,複雑な形式のものを用いる必要があ り4, そのような形式のもとでは, 上述のようなシス テム設計の性質により、構成リンクサイズの調整は直 接的には行うことは困難となる.

上記の内容を踏まえるとき,本研究で取り上げるマルチリンク式サスペンションは,原理的にはパラレルリンクメカニズムであることから,各構成リンクサイズが個別機能項目に及ぼす直接的な関係を個別に把握することは一般には不可能となる.このため,通常の設計においては試行錯誤を繰り返すことにより,総合的にバランスの良い優れた設計を求める必要が生じている.これに対して,設計問題を数理的な枠組の中で定式化することができ,そのような数理的表現に適合する最適化アルゴリズムを導入することができれば,効果的な設計方法となることが期待できる.

3 サスペンション設計問題の階層的構造

まず,乗用車用サスペンションの設計問題の構造を明確にし,数理的な枠組による最適設計が適用可能な部分を明らかにする.

3.1 ISM によるシステム構造分析 設計を行うには,対象に求められるニーズを明確にするととも

に、操作可能な設計の部分を明確にする必要がある. そのような内容は、数理的な取扱いによる設計最適化 に関わらず、複雑なシステムの問題を取扱おうとする 場合には重要であり、システムの計画においては、関 連項目間の階層的な関係を明確にするためのシステム 分析手法として ISM (Interpretive Structural Modeling) 法®が有効であるとされている®.

3.2 設計関連項目 乗用車の操縦安定性設計 は、上述のように、サスペンションのジェオメトリを 優れたものにすることによって、車両の様々なモード における性能を総合的に最適化(満足化)しようとする ものである.設計対象項目としては,特定の形式を用 いるものとすれば,構成リンクの形状寸法,ジョイン トの位置、スプリングダンパの係数、スタビライザの 剛性,などをあげることができる.一方,性能項目と しては,最終的には安定性・操縦性・乗り心地の3つ に集約されるが、これらはいずれも乗員の感覚的な指 標である、このため、設計を行う上では何らかの数量 化可能な指標を導入することが必要である. そのよう なものとしては,実車を用いた走行実験により測定可 能な性能データから、コンピュータによる走行シミュ レーションにより得られるデータ,象徴的な仮想運動 における特徴量や、ジェオメトリそのものにおける特 徴量など,多様なものがある.これらは,それぞれの 目的に応じて使い分けられるべきものであるが,一方 では,総合的な設計を行うためには,実際に用いる評 価項目が評価されるべき内容の全体を過不足無く網羅 している必要もある.また,各項目の背後には,それ ぞれ,実験やコンピュータシミュレーションが関連し ているため,単に評価項目を整理するのみではなく, それらの算出方法を関連させた構造化が必要になる.

3.3 階層化レベル 上記の各種項目として77個のものを列挙し、それらのうちの任意の2つの項目間に関係があるかないかを記述した上で、ISM法による構造化を行い、さらに、それによって得られる階層レベルをそれぞれに含まれる項目の物理的意味内容に照らし合わせて整理することにより、図1に示すような乗用車の操縦安定性設計における階層構造を得ることができる。ISM法の適用によれば11のレベルが得られるが、具体的な意味内容を考慮することにより、それらをさらに以下の6つのレベルとして整理する。

- I. 設計対象 (実体) · · · 車両やサスペンションの形状 に関わる諸量 .
- II. 静力学的基本特性 … サスペンション変位時における幾何学的関係と静力学的つりあい条件より定まる特徴量.

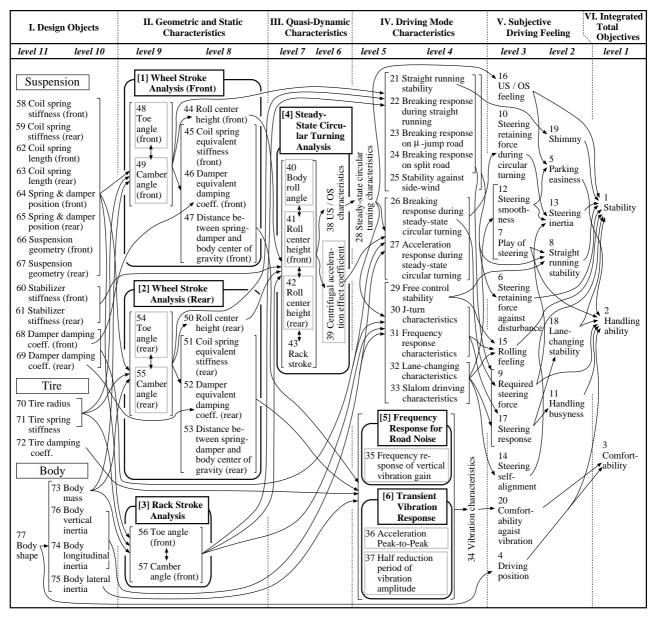


Fig. 1 Hierarchical categorization of design items through ISM analysis

- III. 準動力学的基本特性 · · · 車両の走行状態を模擬した準動力学的なつりあい状態における特徴量 .
- IV. 走行時操安特性 · · · 具体的な車両走行モードにおける動特性を加味した物理的な車両特性を示す特徴量.
- V. 主観的操安特性 ··· 個々の物理的操安特性に対する乗員の主観的評価 .
- VI. 総合評価 … 個々の主観的評価を統合化した総合 評価指標 .

このような階層構造において、II から IV の諸項目は数理的な定義が原理的には可能であるが、III や IV の項目の中には、評価のために複雑なシミュレーションモデルと膨大な計算を必要とするものも多いことがわ

かる.一方, V や VI の諸項目は感覚に係わる量であるため,一般には,数理的な処理には馴染まないものである.

3.4 数理的操作可能な設計モデル 次に, ISM 法を援用して得られた階層化を参照しながら,数理的な処理による設計が可能な範囲を考える.

図1に示した内容における個別項目とコンピュータシミュレーションや解析計算との関連については,階層構造のうちの角括弧付き番号をつけた部分が,様々なもののなかでも,比較的簡便に処理可能な解析処理によって同時に得られる一連の項目に対応するものである.それらの解析処理は以下のようなものである.

[1]: 前輪についてのホイールストローク解析.

- [2]: 後輪についてのホイールストローク解析.
- [3]: ラックストローク解析.
- [4]: 定常円旋回走行を想定した対遠心力平衡解析.
- [5]: 路面入力に対する振動特性の周波数応答.
- [6]: 突起物乗り越し時の過渡振動応答.

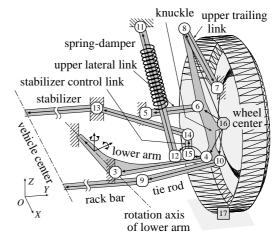
以上の内容は,図1からもわかるように,[5]と[6]を除いたレベルIVにおける各種の走行試験や対応する動的シミュレーションに対する置き換えになっており,また,[5]と[6]についても簡易モデルとしてはサスペンションジェオメトリを含まないバネ・マス系の振動モデルにより評価可能であることから,操縦性・安定性・乗り心地の全項目に対応する最適設計のための解析処理の組み合わせになっている.したがって,これらの処理と項目に対応させて,最適化計算のための制約条件や目的関数を設定する一方,マルチリンク式サスペンションを用いる場合には,その構成や数理的な処理方法に適合した設計変数の組を設定することがのきるものと考えられる.

4 マルチリンク式サスペンションの 設計問題の数学的定式化

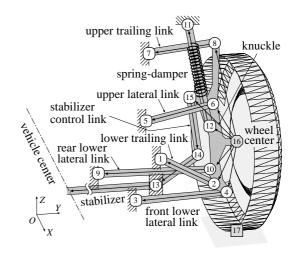
4.1 マルチリンク式サスペンション 図 2に対象とするマルチリンク式サスペンションの構成を前後輪のそれぞれについて示す.マルチリンク式サスペンションは,前述のように基本的にはパラレルリンクメカニズムであるが,実際には,車輪のストローク運動を基調とするための形態を取っているほか,スタビライザがあったり,サスペンションとしての機能を基本的に保持するための形態がある.そのもとで,そのような機能を実施に移すことを考えた場合,各リンクのサイズ,ジョイントの位置などが微妙に影響しあっているため,数理的な手段で適切な設計解を得ることができれば,その効果は大きい.

4.2 設計変数 サスペンションのリンク形状, スプリングダンパのばね定数と減衰係数, スタビライザの剛性は, 車両の操縦安定性との関連が特に強いことから, これらの内容をもとに設計変数を設定する. なお, タイヤのコーナリング特性も操縦安定性を左右する重要な因子ではあるが, 本研究ではサスペンションそのものの設計を対象としていることから, 設計変数からは除外することにする.

メカニズムの設計においては,リンクを構成する対 偶素の相対的な位置関係である機構定数,具体的には 構成リンクそれぞれの形状寸法やジョイントの位置な どを設計変数とすることが一般的である.しかし,そ



(i) Front suspension



(ii) Rear suspension

② : spherical pair ② : rotating pair ② : point contract pair

Fig. 2 Suspension geometry

のような設計変数を最適化アルゴリズムによって任意に操作した場合,つまり,任意にリンク形状と車体上のジョイント位置を決定した後に,それらを組み上げることができなかったり,車軸の方位が不とが容易に起こり得ることが容易に起こり得ることが容易に起こり得ることが容易に起こり得るムーになる.そのような事態を回避し,最適化がスムージになる.そのような事態を回避し,最適化がスムージになる。とのような事態を回避し,最適化がスムージになるようにするために,本研究では,静止つりるで対してというに従属する内容として機構定数を定めた後,それらに従属する内容として機構定数を定めた後,それらに従属する内容として機構定数を定めた後,それらに従属する内容として機構定数を定めたしてが表にでは、前述の解析処理を行うものとする。このような設計変数の選択における任意性は一般にみられるは

ずのものであるが、それらのうちのどのようなものを 最適化アルゴリズムの直接的な処理対象とするかは実 際上重大であり、不適切な定式化を行ったのでは、制 約条件を満たすことが困難になるなどして、最適化計 算を行うことができなくなるなどの事態も生じると考 えられ、一般に注意が必要であると考えられる.

具体的な設計変数については,まず,静止つりあい 位置における車輪の位置と車軸の方位を定数として与 える一方,図2中に矢印で示すように,ホイールセン タ (ジョイント(6) を始点とした上で, スプリングダン パやスタビライザが車両の静止状態においてつりあっ ている位置での各ジョイントの位置をそのリンク部材 を通じての接続順序に従って相対的な位置座標により 定義するようにして、それらを設計変数として用いる ものとする. 例えば, 前輪のスプリングダンパの車体 への取付け位置①は、⑥からみた④の位置、④からみ た心の位置,心からみた心の位置のベクトル和として 定義されることになる. なお, 前輪ロアアームにおけ る車体側の③については、1自由度の回転ジョイント であるため,そのような回転軸の向きも設計変数とし て考える必要がある.以上により,サスペンションの 機構形状に関しては、前輪ではジョイント③~⑤の各 座標値に関する39個の変数とロアアームの回転軸につ いての2個の変数を,後輪ではジョイント①~⑤の各 座標値に関する 45 個の変数の計 86 個の変数を設計変 数とする.このほか,スプリングダンパ等のばね特性 に関して,前後輪それぞれについての,スプリングダ ンパのばね定数と減衰係数各1個,スタビライザの剛 性についてのばね定数各1個,の計6個の変数を設計 変数に加えて,合計で92個の変数を設計変数とする.

- **4.3** 目的関数 前節に示した設計関連項目の中から,図1中の[1]~[6]の解析処理などによる以下の合計 11 個の評価項目を目的関数として設定する.
- (1) 前後輪のホイールストローク時のトー角変化と キャンバ角変化が小さいこと(前2個,後2個, 解析処理[1][2]).
- (2) 静止つりあい状態での前後輪におけるロールセンタ高さがそれぞれ,車両の性格などによって定められる適正値に近いこと(各1個,解析処理[4]).
- (3) 対遠心力平衡解析時における横加速度が 0.5G の ときの車体のロール角が 3 ℃近いこと (1 個,解 析処理 [4]).
- (4) 対遠心力平衡解析時の求心加速度影響係数が車両 の性格などによって定められる適正値に近いこと (1個,解析処理[4]).

- (5) 車両に対して, 1Hzから30Hzまでの路面の上下 定常振動を与えた時の車体の定常状態における上 下振動と, ISOによる8時間の乗り心地限界曲線 との差の最小値ができるだけ大きいこと.(1個, 解析処理[5])
- (6) 突起物乗り越し時の過渡振動状態において,突起物を乗り越した後の加速度の Peak-to-Peak 値における最大値が小さいこと(1個,解析処理[6]) と振動が半減するまでの時間が短いこと(1個,解析処理[6]).
- **4.4** 制約条件 制約条件としては,まず,サスペンションが物理的実体として成立するために以下の条件を考える必要がある.
- (1) サスペンションが車体のホイールハウスに収まること、具体的には、車体固定座標系で記述したホイールハウスの形状に対し、各ジョイントの位置座標が所定の上下限制約を満足すること(前78個,後90個).
- (2) 前輪のロアアームの形状がある程度保たれること、具体的には、ジョイント(2)、(5) がジョイント(3)と(4) の間に存在していること(4個).
- (3) サスペンションがあらかじめ設定した範囲の上下変位、ラック量に対して可動であること.具体的には、サスペンションのホイールストローク解析、ラックストローク解析を行なった時に、所定のストローク量に対して静的つりあい状態が存在していること(前4個、後2個、解析処理[1][2][3]).

さらに,前述の目的関数はすべての性能項目を含んだものではないため,以下の内容を最低限満足しているべき性能項目として考慮する必要がある.

- (1) 静止つりあい状態におけるキングピンオフセット,トー角が許容範囲内に収まっていること(前 4 個,後 2 個).
- (2) 旋回時のタイヤが路面に対して垂直に近いこと. 具体的には,ラックストローク時に外輪がネガティブキャンバであること(1個,解析処理[3]).
- (3) 旋回性を確保するために、最大舵角に対して内外輪差が確保できること、具体的には、サスペンションのラックストローク解析を行なった時に、最大のラック量に対して、内輪側のトー角が外輪側のトー角より大きくなっていること(1個、解析処理[3]).
- (4) アンダステア特性が実現されていること.具体的には,対遠心力平衡解析時の各静的つりあい状態

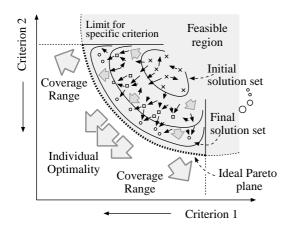


Fig. 3 GA based multi-objective optimization

におけるラック量が車速の上昇に従って単調に増加していること(1個,解析処理[4]).

- (5) 所定の速度までの定常円旋回が可能であること. 具体的には,車両の対遠心力平衡解析を行なった時に,あらかじめ設定した範囲の加速度に対して静的つりあい状態が存在していること(1個,解析処理[4]).
- (6) 過渡振動応答時の振動が収束するまでの時間が許容範囲内であること(1個,解析処理[6]).

以上の項目により,合計 189 個の不等式制約条件を得る.なお,等式制約条件は存在しない.

4.5 数理的性質 以上の設計変数・目的関数・ 制約条件によって得られる最適化問題は,実数空間に おける制約条件付き多目的非線形最適化問題となって いる.この問題において特徴的な点は,図2に示した ようなリンク機構に含まれる全形状寸法を一括して 決定しようとすることから,設計変数の数が多い規模 の大きな問題であること,制約条件の数が多いことは もちろんのこと, それらの多くが複雑に入り組んだり ンク部材相互の関係によって算出される形状特徴量に 関わるものであることから,設計変数の微妙な変化に よって敏感に制約条件が満足されたりされなかったり することが予想されることなどがあげられる.これら の特徴のため, いわゆる通常の数理計画法に基づいた 最適化法を適用したのでは,満足のいく結果を得る ことができないものと考えられる.そこで,本研究で は、別途、構成した遺伝的アルゴリズムによる機械シ ステムのための最適化法でを適用することにする.

5 遺伝的アルゴリズムによる 多目的設計最適化法

遺伝的アルゴリズム®は,自然淘汰のメカニズムに 発想を得た確率的な集団探索による最適化法であり, 最適化問題における様々な悪構造に対しても有効である可能性があることから,多方面でその適用が試みられているが,利用にあたっては,個別問題の性質に適合したアルゴリズムを構成することが重要である.

本研究では、いわゆる Simple GA®をベースとして、実数変数への対応、多目的最適化への対応、などの点から構成した方法®を適用する、図 3は、そのような方法による最適化過程を摸式化して示したものであり、あらかじめ設定された目的関数の許容範囲内の実行可能領域におけるパレート最適解の一群を遺伝的アルゴリズムにおける最終世代の個体群として求めようとするものである。このような最適化を行うためには、ランダムに生成した初期個体群を潜在的なパレート最適解にできるだけ近づけるとともに、許容範囲内に広く分布させる必要がある。そのような最適化探索を行うための観点の一つは個体群における多様性を最後まで維持させることであり、そのような内容に対する対策を含めて、導入した対象表現や遺伝的オペレータは以下のようなものである®、

制約条件付き多目的最適化問題のための適合度関数

・・・まず,制約条件を考慮するために,それらの違反量をペナルティとして各目的関数に加える.その上で,多目的最適化に対応するために,各世代における仮のパレート最適解のすべてについては最良の適合度を与え,非パレート最適解においては,それらのなかでパレート面から最も離れているものに最悪の適合度を与え,他のものについては,両値のあいだでパレート面からの距離に応じた適合度を割り当てる $^{(9)}$.その後, $^{\circ}$ の切捨てと線形スケーリングを行い,さらに,目的関数空間において解を均等に分布させる目的のもと,各個体の混雑度を計算し,その値に従って適合度を調整する $^{(10)}$.

類似性に基づいた選択・・・ここでの最適設計問題では、設計変数の数が多く、それらが複雑に関連しあっていることから、あまりに異なる解を交交とせて新しい解を求めたのでは、両者の優れた代できないどころか、制約条件とで引き継ぐことができないどころか、制約条件とでの本づいなどの不適切な解を生む交叉を過端に満足しないなどの不適切な解を生む交叉ををしたるようにする、すなわち、選択を個体対を両者がある程度類似したものにでするようにする。すなわち、選択を個体対であるようにする、可能な個体対に対するようではなく、可能な個体対に対する方とに類似度との積とした類似度といるでして、

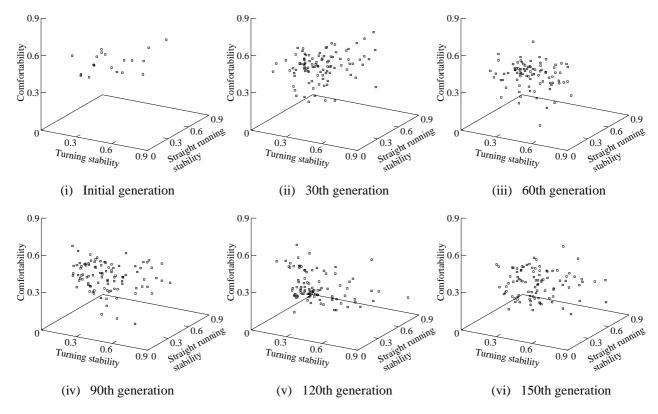


Fig. 4 Optimization history

き個体対の選択を行う.

寿命を考慮したパレート保存戦略 … 遺伝的アルゴリズムにおいてエリート保存戦略は有効な手段であるが,多目的最適化においてはパレート最適解がエリート解となるため,状況によっては保存された個体が世代の大部分を占めてしまって,最適化が進行しなくなることが有り得る.これを避けるために,パレート解を保存する世代数に上限を設けて,交叉が継続的に行われるようにする.

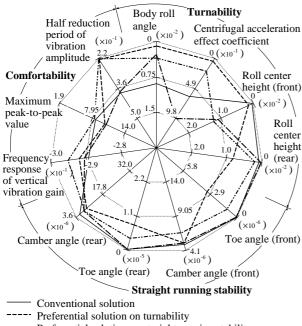
実数表現によるコーディングと直接交叉 \cdots 設計変数の表現に任意の精度を保証するために,遺伝子型と表現型を区別することなく,実数変数のまま対象を表現するものとし,正規分布 $N(0,\sigma^2)$ に従う内分比に従って親個体の設計変数値を内挿することにより交叉を行う $^{(1)}$. なお,このような交叉は突然変異としての性質を含んでいるため,明示的な突然変異は導入しないものとする .

6 最適設計事例

マルチリンク式サスペンションを用いる乗用車の操縦安定性の総合設計問題を以上のような遺伝的アルゴリズムを用いて最適化した結果を以下に示す.

図 4は,遺伝的アルゴリズムにおける個体群が世代 の進行に伴ってパレート解に収束していく様子を示し たものである.前述のように,本問題には11個の目的関数があるため,図は,それらを最小化すべき目的関数に変換した上で,目的関数の項で示した[1]と[2]についての4項目・[4]についての4項目・[5]と[6]についての3項目,の3つに分類し,個別に加重平均をとって各世代における暫定的なパレート解をグラフ化したものである.60世代と90世代においては,個体群がパレート解のやや中心部分に集まる傾向にはあるものの,徐々に潜在的なパレート解に近づいていっている様子が確認でき,150世代においては,その後,パレート解がより広い領域に分散するように解が改善されていることを確認することができる.

以上の結果は、サスペンションの設計問題うち、数理的な取扱いに馴染む部分に関して、遺伝的アルゴリズムによる最適化手法でが有効であり、それによって、一群のパレート最適解を得ることができることを示している。そのような最適解が得られると、実際に設計を行う上では、そのようなパレート最適解の中から、特定の選好解を見つける必要がある。図 5は、図 4 (vi)の中から、典型的なパレート解を選び出し、11 個の目的関数の良し悪しを相互に比較したものである(図では、各項目の値が外側にあるほど、それに関しては優れた設計となっている)。図に示した解に限らず、全体としての傾向としては、旋回性と直



- ---- Preferential solution on straight running stability
- ---- Preferential solution on comfortability

Fig. 5 Several Parato optimal solutions

進走行安定性にトレードオフがあると考えられ,乗り心地については,一概に他の項目とトレードオフの関係にあるとは言えない,などのことが得られたパレート解を具体的に比較検討することにより,把握することができる.また,図中に示した最適化によらなある設計例が,一連のパレート最適解と比較すれば,の理解を通じて,設計者が改めて判断すべきようなの設計問題を系統的な方法で整理し,数理的な処理に制定があることを考えれば,以上のように複雑なシステムの設計問題を系統的な方法で整理し,数理的な処理に制築む部分を明確にした上で,遺伝的アルゴリズムによってパレート最適解を求める一連の手続きは,そのような設計者の判断に対しても有効で質の高い情報を与えるものと考えられる.

なお、図5中の最適化によらないある設計例は、長年に渡る設計の蓄積によって得られているものであり、それに相当する設計結果がここでの最適化計算によって直ちに得られていることを考えれば、実務においても、本研究での最適設計のための方法論が設計サイクルの大幅な短縮に寄与できるものと推察できる.

7 結 言

本研究では,マルチリンク式サスペンションを用いる乗用車の操縦安定性についての総合的な設計問題を取り上げ,そのような多様な内容の関連した複雑な設

計問題を系統的な方法に従って設計を進めていくための方法論について検討を行った.複雑な機械システムの設計問題を体系的な手段で合理的に進める上での問題点は、大きく、設計問題のなかで数理的に明確な処理として切り出せる部分がどこであるかを判定するための手段にあると考えられる.本研究では、前者についてはISM法を利用した構造分析を、後者についてはISM法を利用した構造分析を、後者については遺伝的アルゴリズムによる最適化法を適用しいなわせて、そのような方法論を具体的な問題に展開していく上での課題と着眼点を、サスペンションの設計という具体的な問題に関連させて、示すことがでった.ここで示した枠組は、他の複雑な設計問題について、数理的手段による合理的なアプローチを導入する上での参考になると考えている.

文 献

- (1) 自動車技術ハンドブック ②設計編, (1991), 自動車技術 会, pp. 441-496.
- (2) 近藤, 基礎自動車工学 (前期編・後期編), (1990), 養賢堂.
- (3) 安部, 自動車の運動と制御, (1992), 山海堂.
- (4) 牛尾・ほか3名, 新型マルチリンク式サスペンションと 4WS, マツダ技報, No. 9, (1991), pp. 30-43.
- (5) 例えば、Warfield, J. N., Binary Matrices in System Modeling, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. SMC-3, No. 5, (1973), pp. 411-449.
- (6) 赤木・横山・伊東, システム分析手法に基づく半没水浮体の形状最適設計, 日本機械学会論文集 C編, Vol. 49, No. 440, (1983), pp. 604-882.
- (7) 藤田・ほか3名,遺伝的アルゴリズムによる機械システムの最適化法とそのエンジン諸元の最適設計への適用, 日本機械学会論文集C編, Vol. 65, No. 630, (1999), pp. 821-828.
- (8) Goldberg, D. E., Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, (1989), Addison-Wesley.
- (9) Osyczka, A. and Kundu, S., A new method to solve generalized multicriteria optimization problems using the simple genetic algorithm, (1995), *Structural Optimization*, Vol. 10, pp. 94-99.
- (10) Fonseca, C. M. and Fleming, P. J., Genetic Algorithms for Multiobjective Optimization: Formulation, Discussion and Generalization, *Proceedings of Fifth International* Conference on Genetic Algorithms, (1993), pp. 416-423.
- (11) 古川・矢川, 連続空間のための遺伝的アルゴリズムと その非線形逆問題への応用, 日本機械学会論文集 A 編, Vol. 61, No. 586, (1995), pp. 1409-1415.