



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	<a href="https://hdl.handle.net/11094/2936">https://hdl.handle.net/11094/2936</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

# 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<sup>†</sup> 廣川 敬康<sup>‡</sup>  
赤木 新介<sup>‡</sup> 平田 隆教<sup>‡</sup>

## 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<sup>(1)~(3)</sup>。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きている。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

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

<sup>†</sup>正員, 大阪大学大学院工学研究科 (〒 565-0871 吹田市山田丘 2-1)。

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

E-mail: fujita@mech.eng.osaka-u.ac.jp

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<sup>(1)</sup>、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を用いる必要があり<sup>(4)</sup>、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<sup>(5)</sup>が有効であるとされている<sup>(6)</sup>。

**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のつりあい条件より定まる特徴量。

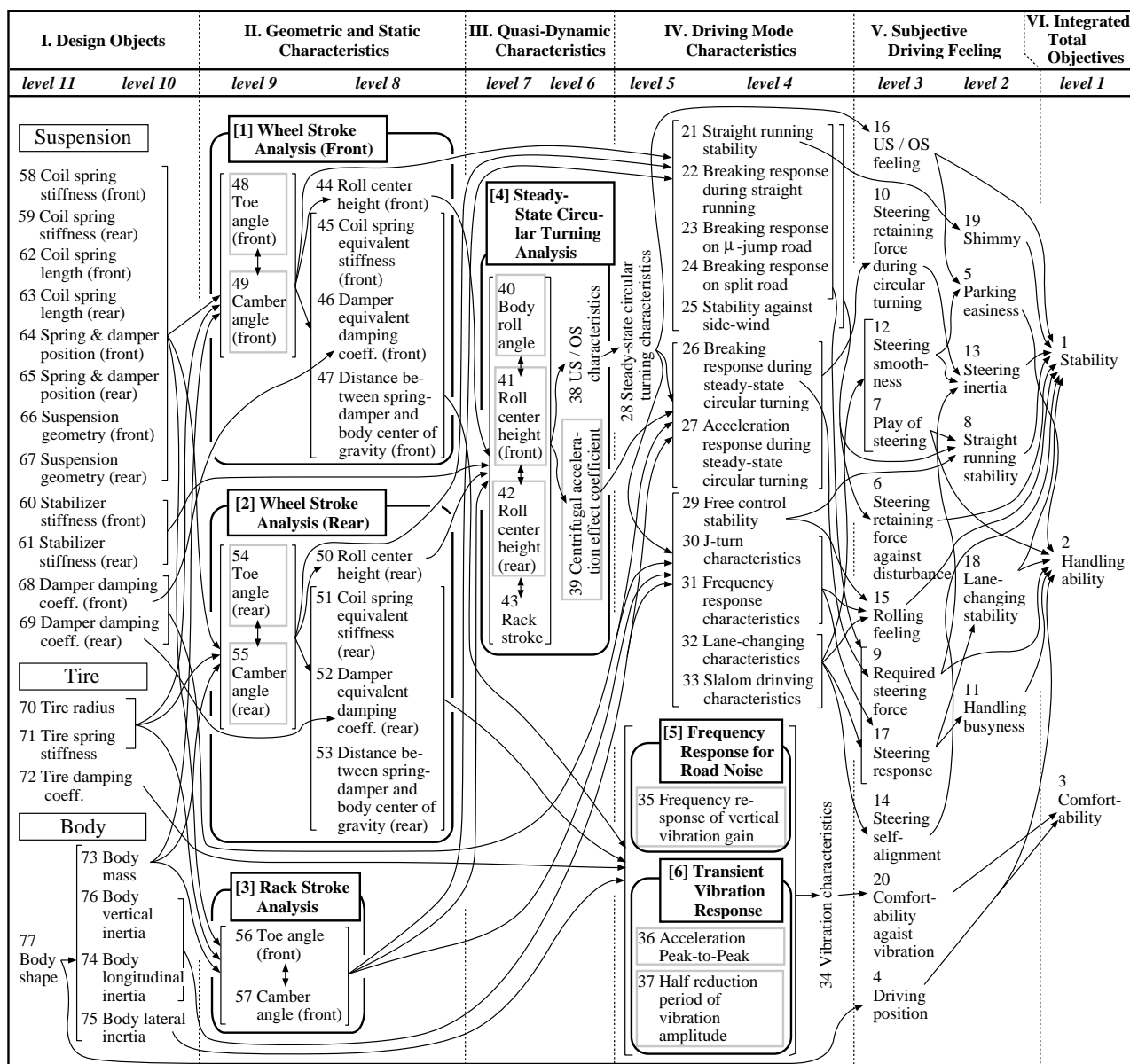


Fig. 1 Hierarchical categorization of design items through ISM analysis

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.

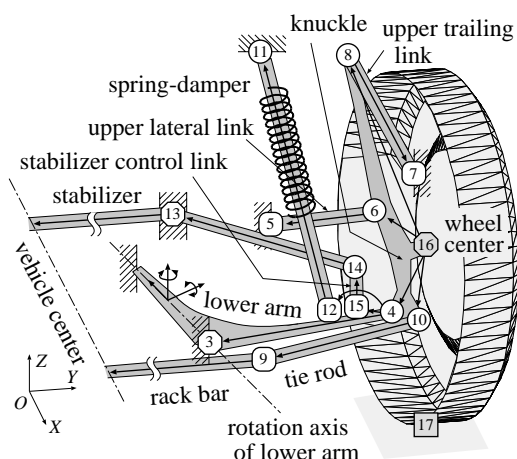
以上の内容は、図1からもわかるように、[5]と[6]を除いたレベルIVにおける各種の走行試験や対応する動的シミュレーションに対する置き換えになっており、また、[5]と[6]についても簡易モデルとしてはサスペンションジオメトリを含まないバネ・マス系の振動モデルにより評価可能であることから、操縦性・安定性・乗り心地の全項目に対応する最適設計のための解析処理の組み合わせになっている。したがって、これらの処理と項目に対応させて、最適化計算のための制約条件や目的関数を設定する一方、マルチリンク式サスペンションを用いる場合には、その構成や数理的な処理方法に適合した設計変数の組を設定することにより、最適化計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

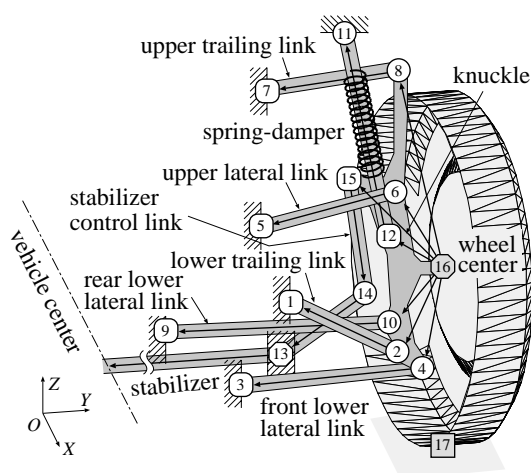
**4.1 マルチリンク式サスペンション** 図2に対象とするマルチリンク式サスペンションの構成を前後輪のそれぞれについて示す。マルチリンク式サスペンションは、前述のように基本的にはパラレルリンクメカニズムであるが、実際には、車輪のストローク運動を基調とするための形態を取っているほか、スタビライザがあったり、サスペンションとしての機能を基本的に保持するための形態がある。そのもとで、そのような機能を実施に移すことを考えた場合、各リンクのサイズ、ジョイントの位置などが微妙に影響しあっているため、数理的な手段で適切な設計解を得ることができれば、その効果は大きい。

**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

- |                    |                        |
|--------------------|------------------------|
| ○ : spherical pair | ⊙ : rotating pair      |
| ⊕ : universal pair | □ : point contact 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、それらを組み上げてサスペンションを構成したのでは、そもそも全体を組み上げることができなかつたり、車軸の方位が不適切になったりするなどのことが容易に起こり得ることになる。そのような事態を回避し、最適化がスムーズに行えるようにするために、本研究では、静止つりあい位置における各ジョイントの絶対座標系における直交軸に沿った相対的な位置関係を設計変数として定めた後、それらに従属する内容として機構定数を定め、リンクの動作に相当する閉回路方程式を処理することにより、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⑬)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⑪は、⑬からみた④の位置、④からみた⑫の位置、⑫からみた⑪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③～⑬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①～⑬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值に近いこと(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°に近いこと(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值に近いこと(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⑫、⑮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き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

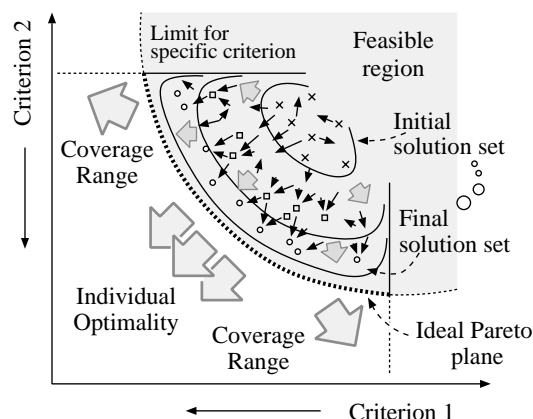


Fig. 3 GA based multi-objective optimization

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リ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<sup>(7)</sup>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<sup>(8)</sup>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<sup>(8)</sup>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<sup>(7)</sup>を適用する . 図 3 は, そのような方法による最適化過程を模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<sup>(7)</sup> .

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<sup>(9)</sup> . その後,  $\sigma$  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<sup>(10)</sup> .

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叉させて新しい解を求めたのでは, 両者の優れた形質を引き継ぐことができないどころか, 制約条件を極端に満足しないなどの不適切な解を生むことになる . そのような事態を避けるために, 交叉を行うべき個体対を両者がある程度類似したものに限定するようにする . すなわち, 選択を個体をベースとして行うのではなく, 可能な個体対に対してそれぞれの個体の適合度と両者の設計変数空間における距離をもとに算出した類似度との積として得られる個体対に対する適合度をもとに交叉すべ

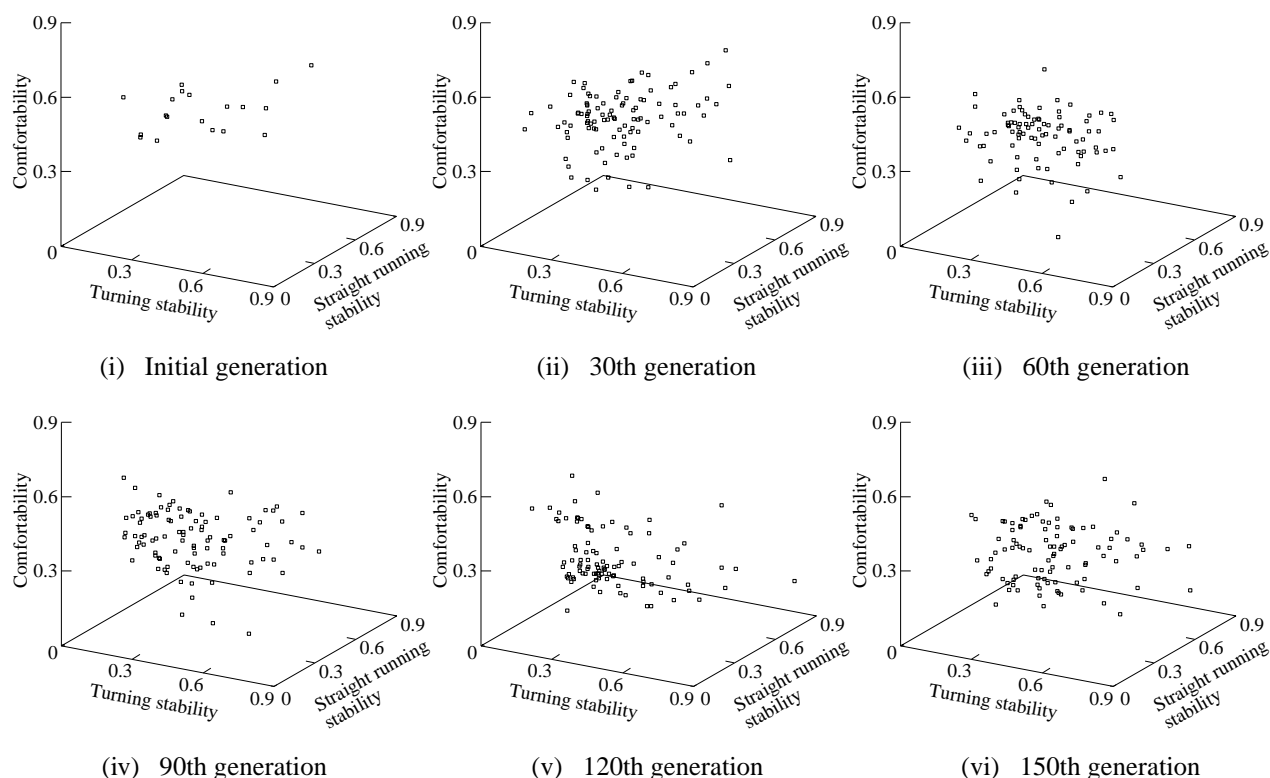


Fig. 4 Optimization history

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 … 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<sup>(11)</sup>。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<sup>(7)</sup>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



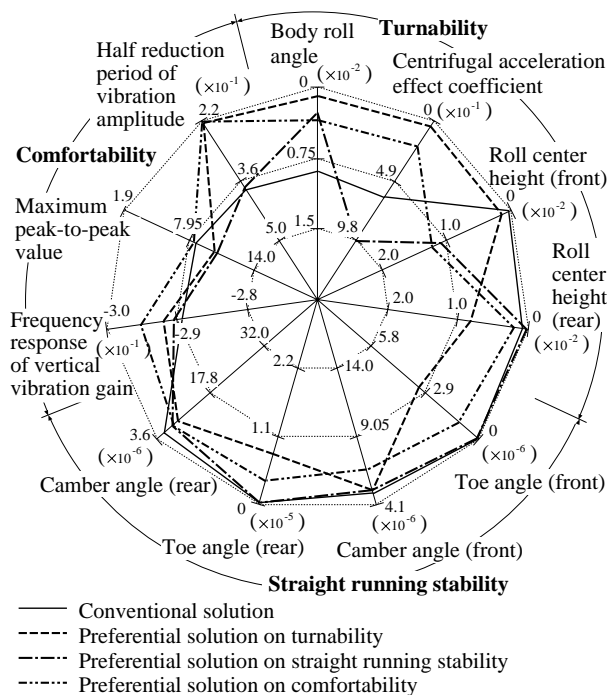


Fig. 5 Several Parato optimal solutions

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いある設計例が、一連のパレート最適解と比較すれば、直進走行安定性を重視した設計になっていることも把握することができる。最終的な設計解は、そのような傾向の理解を通じて、設計者が改めて判断すべきもので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、数理的な処理に馴染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方法と、そのようにして切り出された部分を実際に処理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、後者については遺伝的アルゴリズムによる最適化法を適用し、あわせて、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、示すことができた。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.