

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「コンパクトで高性能な減速機の研究開発」

研究開発成果等報告書

平成22年 3月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人岐阜県産業経済振興センター

目 次

第1章 研究開発の概要

- 1－1 研究開発の背景・研究目的及び目標 1
- 1－2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者） 4
- 1－3 成果概要 7
- 1－4 当該研究開発の連絡窓口 7

第2章 新減速機構モデルの検討

- 2－1 研究の目的及び目標 8
- 2－2 実施内容 8
- 2－3 研究成果 9

第3章 新減速機構最適モデルの検討

- 3－1 研究の目的及び目標 11
- 3－2 実施内容 11
- 3－3 研究成果 15

第4章 全体総括 15

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究も悔いの及ぶ目標

高級乗用車の背もたれは、滑らかに角度調整できることがリクライニングの観点から求められている。角度調整の動力には、車のバッテリーからの小型モーターが用いられているため、当該モーターの回転トルクを維持しながら、回転数を減速させる機構が必要^(注1)となる。現在では、省スペース化、軽量化の要求から「差動遊動歯車方式」の減速機構が一般的に用いられている。

上記方式による減速機構は、出力プレート(背もたれに直接連結されているプレートのこと。)に固定された内歯車自体が偏芯機能を有するものであるが、偏芯量分の揺動運動が直接背もたれに加わり、耐久性、安定性、快適性に問題を有している。また、かかる減速機構では、内歯車と外歯車とのかみ合いにおけるバックラッシ^(注2)を原因とする振動や騒音を取り除くためのスプリング、スプリング固定金具等、多数の部品が必要とされている。

本研究開発では、差動遊動歯車方式の新しい減速機構を開発し、これらの諸問題を解決しようというものである。

注1) 一般的にモーターの回転数は数千rpmであるが、これに対し所望する回転数は遙かに低い。このギャップを埋めるためには減速機構を必要とする。

注2) 歯車等が互いにはまりあって運動する機械要素において、運動方向に意図して設けられた隙間のことで、振動や騒音の発生及び機械の寿命を低下させる原因となることで知られている。

1. 研究の概要

従来の差動遊動歯車方式の機構は、上記1)で述べたとおり、出力プレートに直接固定された内歯車自体が偏芯機能を有するものであり、この偏芯作用によって減速した内歯車から、回転運動が直接出力プレートに伝達する仕組みとなっている(下図参照。)

一方で、本研究開発で開発を行う差動遊動歯車方式の新機構は、内歯車の円盤上に取り付けられた2個の偏芯カムによって偏芯機能を有し減速することとなるが、減速後の回転運動は2個の偏芯カムの円弧運動を通じて出力プレートに伝達される仕組みである(下図参照。)

このため、新機構では、偏芯作用による揺動運動やバックラッシを原因とする振動が直接出力プレートに伝達されることなく、耐久性、安定性、快適性の確保に資するものと期待される。さらには、バックラッシを原因とする振動が直接出力プレートに伝達されないことから、当該

振動等を取り除くためのスプリング等の部品が不要となる。

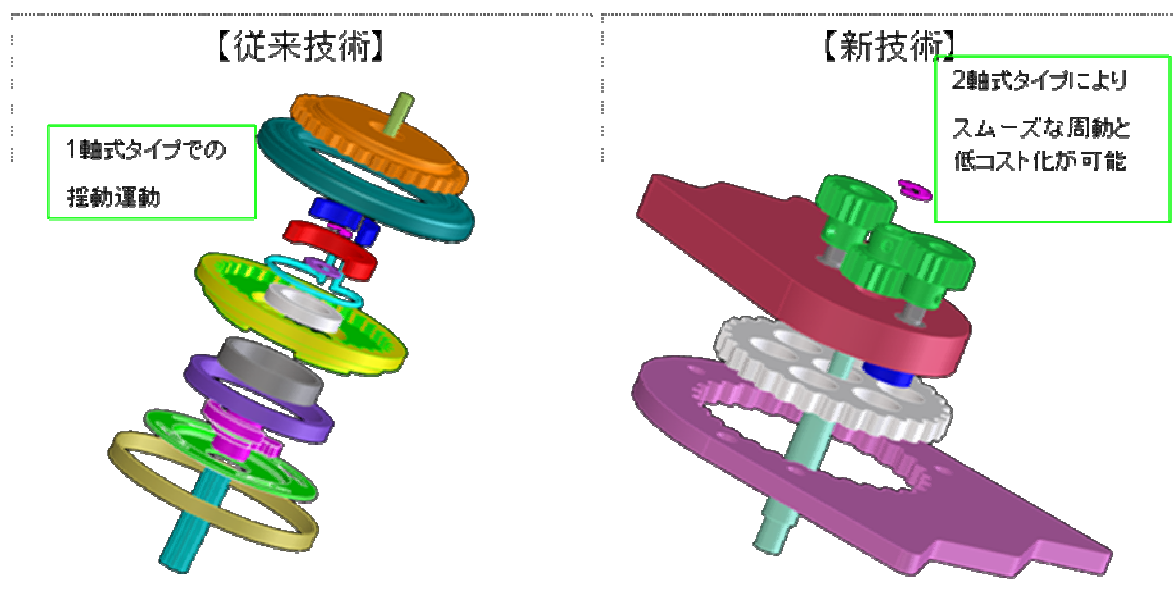
ただし、上記の新機構を確立するためには、

- ・ 内歯車の円盤上に取り付ける2個の偏芯カムが取付位置精度は、内歯車の中心軸に対して $\pm 0.005\text{mm}$ のレベルを保持すること、
- ・ 偏芯カムの軸と出力プレートに取り付けられた軸受とのはめあい精度、及び小型モーターギアと偏芯カムギアとのはめあい精度は、 $\pm 0.01\text{mm}$ のレベルを保持すること、

が必要と考えられる。

ところが、複雑な新機構の歯形状、歯車寸法等の最適設計を検討する手法として、現状では、数値計算を行うためのシミュレーションモデルの作成が極めて困難と考える。このため、本研究開発では、これまで蓄積された知見を踏まえ、適正と考えられる歯形状、歯車寸法等の複数のモデル候補を検討・試作し、主として実験を通じた最適設計の絞り込みを図ることとする。

なお、上記の検討は、従来の差動遊動歯車方式に比して構成部品点数を3割低減させることを念頭に置いて行うこととする。



減速機構の概略図

2. 実施内容

① 新減速機構モデルの検討（担当：株式会社深見製作所）

上記1で述べたとおり、複雑な新機構の歯形状、歯車寸法等の最適設計を検討する手法として、現状では、数値計算を行うためのシミュレーションモデルの作成が極めて困難と考えられるため、これまで蓄積された知見を踏まえ、株式会社深見製作所が適正と考えられる歯形状、歯車寸法等の複数のモデル候補を検討した。

さらに、数ケースのモデルに基づいて、株式会社深見製作所が試作を行った。この際には、上記2)のただし書きで列記した各精度のレベルを保持する必要があるため、5軸加工機及びワイヤーカット放電加工機を用いて加工し試作を行った。

研究成果は第2章に示す。

② 新減速機構最適モデルの検討（担当：株式会社深見製作所、国立大学法人京都大学）

財団法人日本科学技術連盟が定める規程（実験計画法及び応答曲面法）に基づき、上記①により試作を行った数ケースの減速機構に適した実験計画を、国立大学法人京都大学が策定し、株式会社深見製作所に既設の計測装置を用いて以下の実験を行った。

- ・ 減速機構を動作させて出力プレートに伝達される回転モーメントの測定実験
- ・ 出力プレートの軌跡誤差の測定実験
- ・ 減速機構の荷重試験（耐久性確認試験）

さらに、この測定結果に基づき、国立大学法人京都大学が既設の最適化ソフトにより解析し、実験結果の整理及び歯形状、歯車寸法等の最適化を図った。

上記の実験結果を総合して、国立大学法人京都大学が以下の判断基準に基づき評価を行い、最適モデルの選定を行った。

- ・ モーターの回転モーメントが出力プレートにおいても維持されているか否か。
- ・ 出力プレートの軌跡誤差が ± 0.01 mmの範囲内に抑制可能であるか否か。

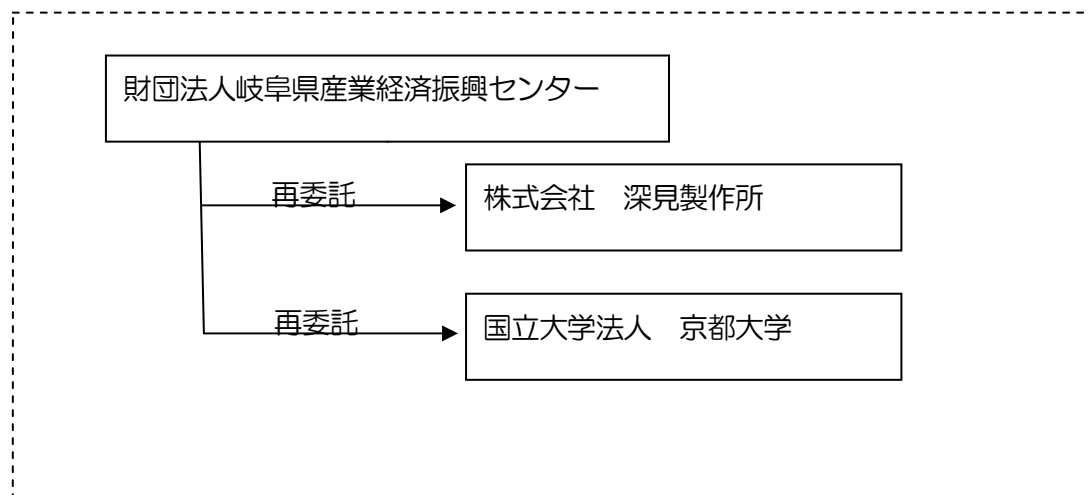
③ プロジェクトの管理・運営（実施者：財団法人岐阜県産業経済振興センター）

プロジェクトに係る研究開発の進捗管理、それに係る経理処理等を行うとともに、研究開発委員会の運営、中間評価の実施、成果報告書の作成等研究開発の管理運営を行う。

1－2 研究体制

1. 研究組織及び管理体制

①研究組織（全体）



総括研究代表者（PL）

所属 株式会社 深見製作所

役職 設計部長 四島忠志

副総括研究代表者（SL）

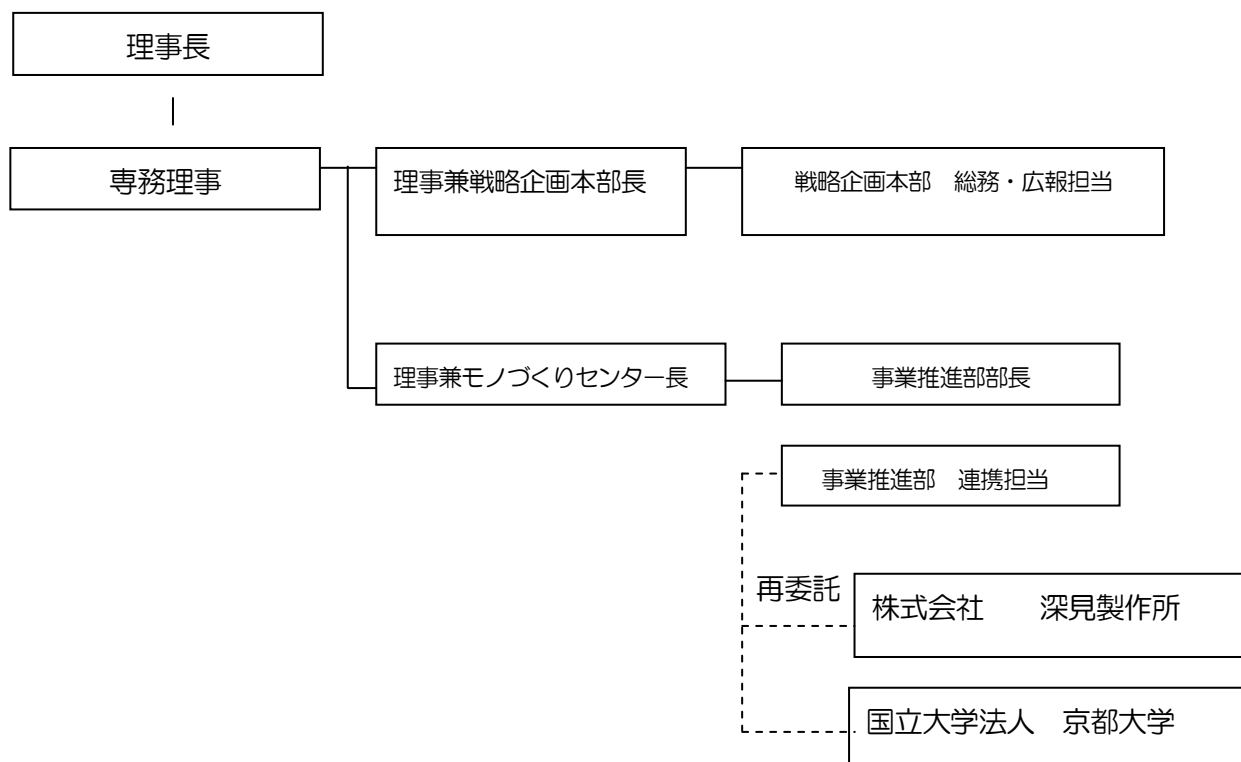
所属 株式会社 深見製作所

役職 研究開発主任 加藤雅夫

②管理体制

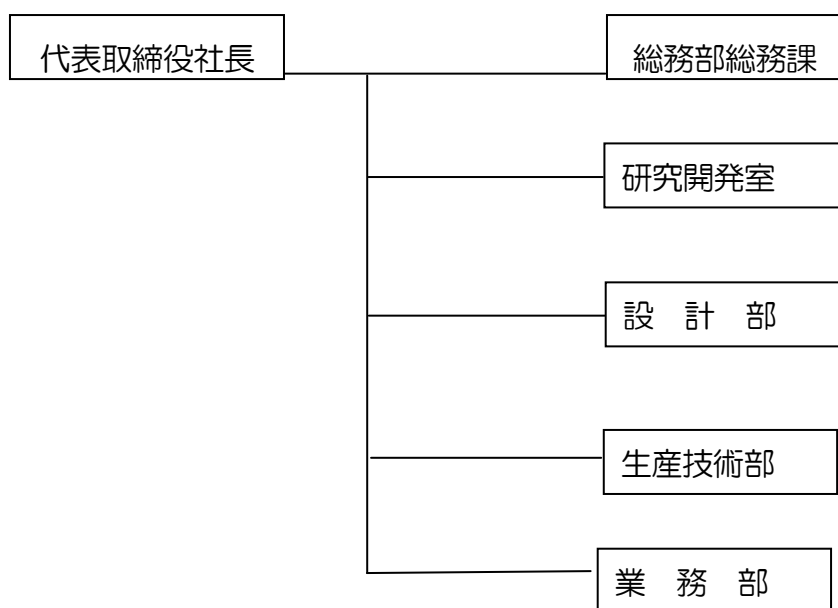
事業管理者

[財団法人 岐阜県産業経済振興センター]

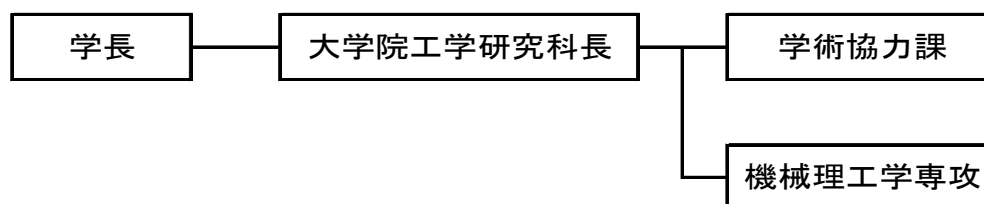


再委託先

[株式会社 深見製作所]



[国立大学法人 京都大学]



(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】 財団法人岐阜県産業経済振興センター

管理員

氏名	所属・役職	実施内容
砂田 博	理事兼モノづくりセンター長	プロジェクトの管理・運営
服部 清	事業推進部長	
朝原 力	事業推進部主任調査役	
野村 貴徳	事業推進部主査	
小川 誠	事業推進部主査	

【再委託先】

研究員 株式会社 深見製作所

氏名	所属・役職	実施内容
四島 忠志	設計部 部長	新減速機構モデルの検討
加藤 雅夫	研究開発室 主任	
杉山 慎	業務部 営業技術係長	
木島 直哉	生産技術部 製造3課課長補佐	
服部 友樹	業務部 営業技術主任	
深見 洋介	業務部 購買技術課長補佐	

国立大学法人 京都大学

氏名	所属・役職	実施内容
西脇 眞二	大学院工学研究科機械理工学専攻教授	新減速機構最適モデルの検討
泉井 一浩	大学院工学研究科機械理工学専攻助教	

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

財団法人 岐阜県産業経済振興センター

(経理担当者) 戦略企画部主任

大堀 明雄

(業務管理者) モノづくりセンター 主任調査役

朝原 力

(再委託先)

株式会社 深見製作所

(経理担当者) 総務部総務課 主任

石井 大介

(業務管理者) 設計部長

四島 忠志

国立大学法人 京都大学

(経理担当者) 工学研究科学術協力課産学連携掛

亀山 尚美

(業務管理者) 大学院工学研究科機械理工学専攻教授 西脇 眞二

1-3 成果概要

新減速機モデルの検討・設計を行い、6種のモデルを製作して検証を行った。

製作した各モデルに対して、回転トルク・バックラッシについて測定を行い、最適化を図る為の方向性を見出すことが出来た。

また京都大学にて測定データの解析を行い、最適条件の数値の算出を行った。

但し、構想にあった別モデルの検証まで実施しきれなかったこと、また京都大学での解析による最適条件での減速機製作と検証までが本年度内の研究で実施出来なかった。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

財団法人岐阜県産業経済振興センター事業推進部

所在地：岐阜県岐阜市藪田南5丁目14番53号

電話：058-277-1093 FAX：058-273-5961

E-mail：ma-ogawa@gpc-gifu.or.jp

第2章 新減速機構モデルの検討

2-1 研究目的及び目標

第1章 1. 述べたとおり、複雑な新機構の歯形状、歯車寸法等の最適設計を検討する方法として、現状では、数値計算を行うためのシミュレーションモデルの作成が極めて困難と考えられるため、これまで蓄積された知見を踏まえ、株式会社深見製作所が適正と考えられる歯形状、歯車寸法等の複数のモデル候補を検討した。

さらに、数ケースのモデルに基づいて、株式会社深見製作所が試作を行った。この際には、第1章 1. のただし書きで列記した各精度のレベルを保持する必要があるため、5軸加工機及びワイヤーカット放電加工機を用いて加工し試作を行った。

2-2 実施内容

新減速機構モデルの検討に当たり、下記の課題事項が挙げられる。

課題事項

- 偏芯の同期精度の確立
- 歯車の干渉を解消する計技術の確立
- バックラッシの最適設計技術の確立
- 伝達効率最適設計技術の確立

1. 歯車の干渉を起こさない為の歯車の設計技術の確立

試作機1号機と2号機で行ってきた減速機の検証結果を踏まえて、最適設計の方法を改めて考えることが必要となってきた。そこで、岐阜県産業振興センター及び国立京都大学研究課に最適な減速機の設定についてのアドバイスを求めました。双方からご提供頂いた資料・文献を参考にさせて頂き、歯車干渉しない計算式又は、バックラッシを発生させない最適な歯車の計算式を得ることが出来た。

2. 新減速機の設計技術の確立

「1. 歯車の干渉を起こさない為の歯車の設計技術の確立」の計算式を用いて、平歯車と内歯車が干渉しないこと、又はバックラッシを最小限に出来る条件を算出することが出来た。その結果に基づき試作品を製作して検証を行う。

最適モデルの検討

「1. 歯車の干渉を起こさない為の歯車の設計技術の確立」にて導き出した計算式に当てはまる歯車の仕様の内、「①転位係数」、「②歯高」の各パラメーターが当該機構においてバックラッシと伝達効率に及ぼす影響度を知る。その結果を応答曲面法に基づき解析を行い、最適な歯車仕様を見出す。

検討の結果、以下の6条件において製作することとする。

歯高	内歯車転移係数		
	1.1	0.9	0.6
標準歯高	A		
標準歯高×0.8	B	C	
標準歯高×0.4	F	G	H

2-3 研究成果

1. 減速機製作

2-2にて検討された減速機を今回導入した、5軸マシニングセンター及びワイヤーカット放電加工機にて各部品を加工し減速機を製作した。

製作した新減速機ユニット



構成部品は、0.01 mm以内の精度で加工されていることから、部品精度による測定誤差には影響無いものと思われる。

2. 本事業導入設備

ヤマザキマザック INTEGREX 200-IV S



三菱電機ワイヤーカット DIAX FA-20Advance



第3章 新減速機構最適モデルの検討

3-1 研究目的及び目標

財団法人日本科学技術連盟が定める規程（実験計画法及び応答曲面法）に基づき、上記①により試作を行った数ケースの減速機構に適した実験計画を、国立大学法人京都大学が策定し、株式会社深見製作所に既設の計測装置を用いて以下の実験を行った。

- ・ 減速機構を動作させて出力プレートに伝達される回転モーメントの測定実験
- ・ 出力プレートの軌跡誤差の測定実験
- ・ 減速機構の荷重試験（耐久性確認試験）

さらに、この測定結果に基づき、国立大学法人京都大学が既設の最適化ソフトにより解析し、実験結果の整理及び歯形状、歯車寸法等の最適化を図った。

上記の実験結果を総合して、国立大学法人京都大学が以下の判断基準に基づき評価を行い、最適モデルの選定を行った。

- ・ モーターの回転モーメントが出力プレートにおいても維持されているか否か。
- ・ 出力プレートの軌跡誤差が ± 0.01 mmの範囲内に抑制可能であるか否か。

3-2 実施内容

第2章にて製作した6種類の減速機について、①「バックラッシ」、②「回転トルク」について測定を実施した。

3. 測定結果の解析

上記での測定実験の結果を国立大学法人京都大学が既設の最適化ソフトにより解析を実施した。

サンプル数が十分に確保できなかったため、実験計画法で最適な設計諸元を導き出すことが困難となった。そこで応答曲面法を用いて、設計諸元と性能の関係を導き出す。

応答曲面を得る方法として、2次多項式を用いる方法と放射基底関数（RBF）を用いる方法を検討する。

歯高、転位係数とバックラッシとの関係

歯高 \ 内歯車転移係数	1.1	0.9	0.6
標準歯高	A		
標準歯高X0.8	B	C	
標準歯高X0.4	F	G	H

実験により測定した6つのデータから近似曲面（関係式）を導出する

応答曲面法による近似曲面

歯高： a 転移係数： b バックラッシ： R

$$R = 1.6761a^2 - 0.8760a \cdot b + 0.4291b^2 - 1.3434a - 0.3196b + 0.9011$$

この局面から得られる最適解は

歯高： $a = 0.7$ 転移係数： $b = 1.1$ の時、

バックラッシ最小値： $R = 0.2992$ である。

実験点との誤差

実験点との誤差の大きい点が見られたことから、放射基底関数（RBF）を用いた代理モデルの構築を実施した。これによりサンプル点における誤差を回避することができる。

放射基底関数（RBF）による代理モデル

サンプル点におけるデータを用いて、基底関数 $g_j(\mathbf{x})$ ($j=1,2,\dots,n$) の重ね合わせにより元の関数を表現（ n =サンプルの数）

$$g_j(\mathbf{x}) \equiv g(\|\mathbf{x} - \mathbf{x}_j\|)$$

基底関数の値はサンプル点からの距離に依存する。

今回はガウス関数を利用する。

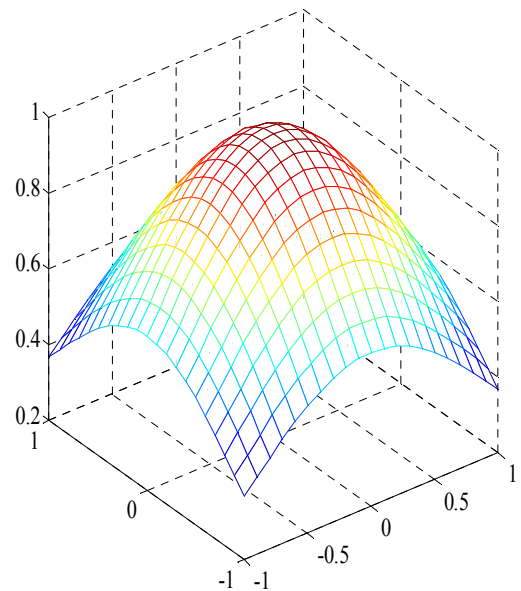
$$g(\|\mathbf{x} - \mathbf{x}_j\|) = \exp\left(-\frac{\|\mathbf{x} - \mathbf{x}_j\|^2}{2c^2}\right)$$

RBF による補間曲面

上記からの最適解

最小値： 0.2740 歯高： 0.7

転移係数：1.045



歯高・転位係数とトルク特性との関係①

6つの実験点における平均のトルク特性からトルク特性の近似式を導出し得られた近似式

$$T = 0.0158(a + b + 1) \cdot w - 0.3300a^2 + 0.3256a \cdot b - 2.2907b^2 - 0.0644a + 4.1967b - 1.6532$$

歯高： a 転移係数： b 負荷： w

歯高、転位係数について6点各サンプルについて負荷3点計 18 点のデータから算出した

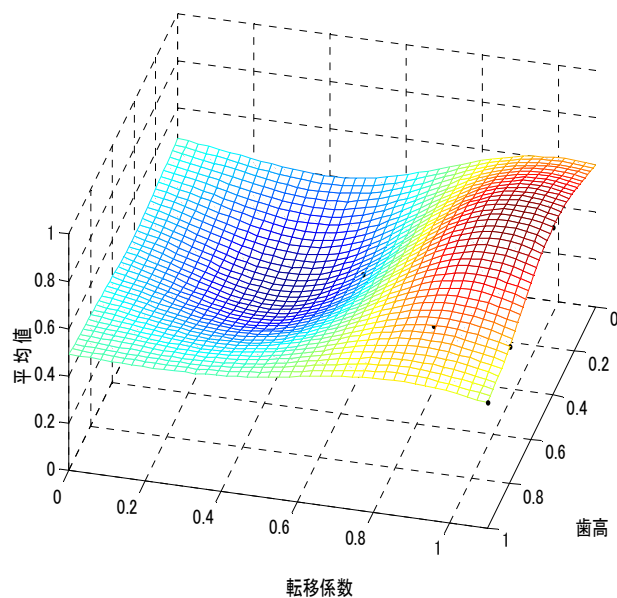
歯高・転位係数とトルク特性との関係②

$$T = A(x - 10) + B$$

A =傾き B =平均値

傾向を調べるため6つの実験点においてトルク特性の傾き、トルクの平均値を取り出し、RBF補間曲面を導出した。

平均の保管曲線 (RBF)



3-3 研究成果

歯高、移係数の2つのパラメータと、バックラッシ・トルク特性について2次曲面・放射基底関数（RBF）を用いて応答曲面を構築し、それぞれの関係をグラフィカルに表示することができた。実験計画法ではサンプル点の数を自由に選ぶことができず、また製造不可能な組み合わせが存在すると計算が破たんするが、RBF を用いれば今回のように6点のサンプル数でも関係を表現することが可能である。構築した応答曲面を用いて最適設計解を導出する方法の可能性を検討することができた。

第4章 全体総括

測定結果を京都大学にて解析、最適値の算出を実施したが、少ないサンプルでの評価であることから正確な数値でないことが考えられる。今年度の研究の中で方向性が見えてきたことから、更に最適化に向けての研究を進める。

また測定サンプル減速機ではベアリングを使用して測定した為、コンパクト化には至っていない状況である。ベアリング無しの減速機でコンパクト化と高性能化を目指し、製品化へ向けての研究を進める。

研究時間に制限がある中、全ての測定結果を行えなかったことが残念である。今後も測定結果を京都大学にて解析、最適条件の算出を行い、最適化された減速機の確立を目指す。