

平成 2 1 年度戦略的基盤技術高度化支援事業
「新型遊星機構の応用、及び、
その製造法の研究開発」

研究開発等成果報告書
平成 2 2 年 3 月

委託者 関東経済産業局

委託先 イマデスト株式会社

第1章 研究開発の概要

（研究全体の概要）

本技術はロボット等を含む機械産業の課題、即ち律速（発展を決めている）となっている技術は減速機を中心とした機械要素である。本機構は機械産業を飛躍的に発展させる可能性のある稀有の発明であり、設計法、製造法等の基礎的研究、及び、未来産業を開拓する製品開発までを行う。

（本年度の取り組みの概要）

委託業務実施計画書、並びに、特定研究開発等計画に係る認定書に基づき、初年度分としての11月中旬よりの実質4ヶ月の活動とその成果を中心に報告する。

本年度の取り組みとしては、「設計技術」の完成を目指し、製造法を主とする「周辺技術の研究」を行い、且つ、製品化への道筋をつけるため、実際に試作する「ものづくり」を行った。

「ものづくり」は多くの問題点を解決しながら研究や製造（加工）を行ったが、現段階で試作完了と製品の性能把握までは行っていない物もある。

したがって、本年度の実施項目は、「設計法の研究」をほぼ完了したこと。及び「ものづくり」に取り組み多くの試作を行ったこと、及び材料、表面処理、転造や内面加工の加工技術などの「周辺技術開発」を開発したことである。機構の開発であるので、多岐にわたる大規模なものであったので、期間が短いなかで、全力で取り組みかなりの成果は出したものと自負している。また、事業化を視野に入れ「ものづくり」は実際に需要が見込まれる製品にターゲットを絞り試作したので、製品開発に近くした。

・研究の背景・研究の目的及び目標

（研究の背景）

プロジェクトリーダーである杉谷伸芳が、遊星歯車機構の理論を発明した。その理論は、基本的には差動歯車機構であり、ネジ状の歯車を基本とした構造である。また、その理論により現代の3大機械要素である減速機、ベアリング、直動機構をつくることが出来る。（世界特許取得済み）この理論を用いた直動機構は一部で量産化されているが、その直動機構を始め、減速機、ベアリング（普通遊星歯車）を一般化するほどには、設計・製造面で確立されていない状態である。

（研究の目的・目標）

本研究は、新しい遊星歯車機構の理論を実用化する為の基礎技術開発を目的とする。これまでに、理論的検証、及び、初期実験により、効率、強度等の優位性を確認し、一部技術は自動車向け量産されているが、ロボット技術へ応用開発を行うと共に、製造技術を含めた開発を行い、技術課題を克服し、広く一般技術として完成することを目標としている。

また、「機械要素は産業の米」と呼ばれているが、いまだ嘗て日本人が発明した根本技術はなく、且つ、この数十年世界的にもないと自負している。

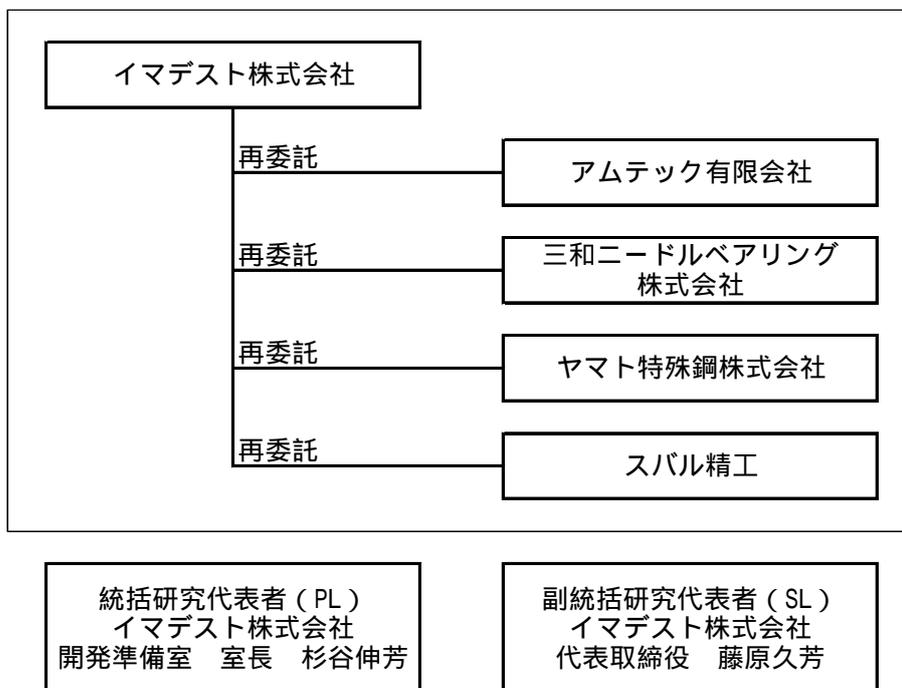
また、この理論で作られる機械要素は、ネジを歯車として用いている為に、同一体積で、従来技術に比して、極めて大きな力を伝達でき、且つ、効率も良いと考えられる。

即ち、油圧から電動かへ進む今日の技術動向に対し、最も適合する技術であり、本技術の一般化をもって、広く日本の産業社会に寄与すると考える。

・研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

1) 研究組織 (全体)

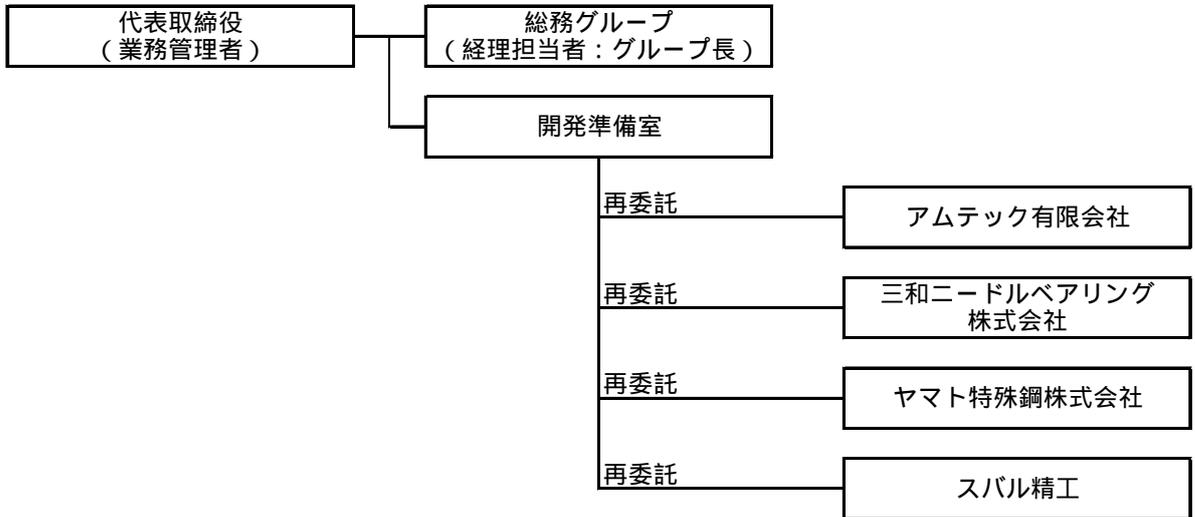


2) 管理体制

事業管理者

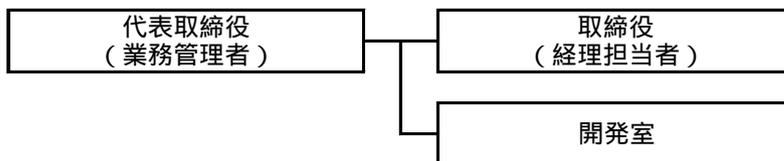
[イマデスト株式会社]

イマデスト株式会社



再委託先

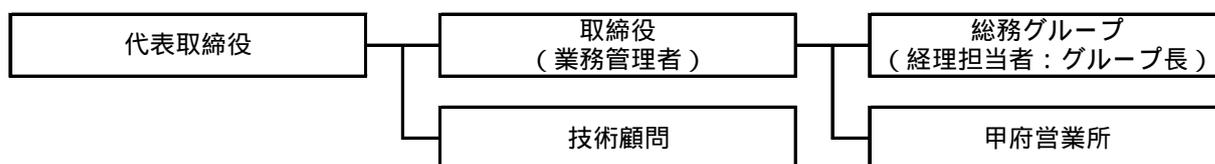
[アムテック有限会社]



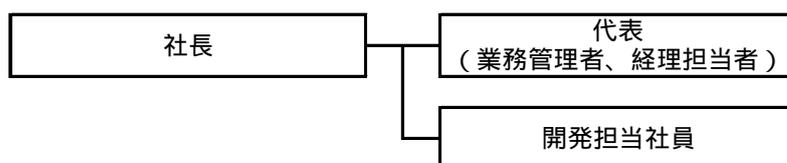
[三和ニードルベアリング株式会社]



[ヤマト特殊鋼株式会社]



[スバル精工]



(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】イマDEST株式会社

管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
藤原久芳	代表取締役	
栗原文男	総務グループ グループ長	
杉谷伸芳	開発準備室 室長	
田中知実	開発準備室	

研究員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
杉谷伸芳(再)	開発準備室 室長	
田中知実(再)	開発準備室	
張心明	開発準備室	

【再委託先】**(研究員)****アムテック有限会社**

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
上田昭夫	代表取締役	
吉原正義	開発室	
大畑純也	開発室	

三和ニードルベアリング株式会社

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
中里節男	営業部 次長	
斉藤圭吾	技術部技術1課 技師	
大平勝也	技術部技術1課	
小松崎信一	技術部技術2課	
植木稔	技術部技術2課	

ヤマト特殊鋼株式会社

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
松原英雄	取締役	
村井弘佑	技術顧問	

スバル精工

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
永田寿一	社長	
大槻修	開発担当社員	

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

イマデスト株式会社

(経理担当者) 総務グループ グループ長 栗原文男
(業務管理者) 代表取締役 藤原久芳

(再委託先)

アムテック有限会社

(経理担当者) 取締役 上田鈴香
(業務管理者) 代表取締役 上田昭夫

三和ニードルベアリング株式会社

(経理担当者) 管理部業務課 木村琢也
(業務管理者) 取締役 技術部 部長 海老沢久男

ヤマト特殊鋼株式会社

(経理担当者) 総務グループ グループ長 栗原文男
(業務管理者) 取締役 松原英雄

スバル精工

(経理担当者) 代表 永田良子
(業務管理者) 代表 永田良子

(4) 他からの指導・協力者

研究開発推進会議 委員

氏名	所属・役職	備考	
藤原久芳	イマデスト株式会社 代表取締役	SL	
杉谷伸芳	イマデスト株式会社 開発準備室 室長	PL	
上田昭夫	アムテック有限会社 代表取締役		
中里節男	三和ニードルベアリング株式会社 営業部 次長	委	
村井弘佑	ヤマト特殊鋼株式会社 技術顧問		
大槻修	スバル精工 開発 社員	委	
梅林義弘	オーエスジー株式会社 転造工具・ゲージグループ 課長	アドバイザー	
久保愛三	財団法人応用科学研究所 理事	アドバイザー	
野中鉄也	国立大学法人京都大学 大学院工学研究科 助教	アドバイザー	

備考欄の丸数字は、下記のとおり。

研究開発推進会議

歯形設計法会議

転造法会議

試作推進会議

表面処理会議

材料研究会議

．成果概要

研究の成果（何が、出来て何が出来なかったか）

	出来たこと	達成度	出来なかったこと
1. 設計技術の開発	総評：順調に進んだ。	90%	一部のソフト等が未完
1 設計手法の開発	新しい歯車歯形、及び構成法を見出した。本方法は特許性が極めて高い。	100%	なし
2 設計ソフトの開発	主要部はほぼ完成したが使い勝手が悪い。今後、頻繁に使用することで、徐々に改善して行く	80%	予定としていたFEM解析、及び、ロール転造型への展開までは至らなかった。時間的問題であり、今後も完成に向けて努力
3 転造設計法の開発	完成	100%	なし
2. ものづくり	部品の加工途中でのトラブルで遅れているが、目処が立った	75%	一部部品の完成と組み立て
1 外径 4超小型減速機の試作	部品完、組立てたが動かない、現在解析	90%	動作確認
2 外径 12の超小型減速機の試作	内歯の加工が遅れ、一部部品が出来ていないが、その他の主要部品は完成	70%	部品の完成以降
3 外径 25の小型減速機の試作	同上	70%	同上
4 外径 52の中型減速機の試作	同上	70%	同上
4 外径 95の大型減速機の試作	他から、依頼を受けて開発中 よって、本研究から除外した。	(100%)	順調に試作中
5 直動機構用シャフトの製作	形状にはなったが、精度が出ない		現在、転造機を大規模改修中でその後実
3. 周辺技術の開発	多岐にわたる開発であったが、ほぼ完	90%	
1 転造機の開発	油圧の転造機は作り多くの知見を得た。	70%	油圧転造機改修中、新型は設計中
2 歩き転造の開発	完：新しい理論通り動作した	100%	なし
3 内歯の研削法の開発	再マトライ中	70%	まだ部品完に至っていないので、検証。但し、確証はある。
4 組立てジグの開発	設計は完了現在試作中、まだ組立ていな	50%	実証未
5 材料・熱処理の開発	最適な材料を見出した	90%	材料が型用のため、圧延等による径の種類がない
6 潤滑の研究（表面コーティング、潤滑剤）	基本実験を通じ知見は揃った	95%	実物で今後実証するのみ
7 性能測定ジグの開発	設計は完了現在試作中、まだ組立ていな	80%	動作、精度の検証未

．当該研究開発の連絡窓口

杉谷伸芳（すぎたにのぶよし）

イマデスト株 開発準備室

〒136-8521

東京江東区亀戸 1-1-6

ヤマト特殊鋼(株) 内 イマデスト

TEL 03-3683-2271 FAX 03-3683-6103

携帯 090-9924-5371

E-MAIL nobuyoshi_sugi@ybb.ne.jp

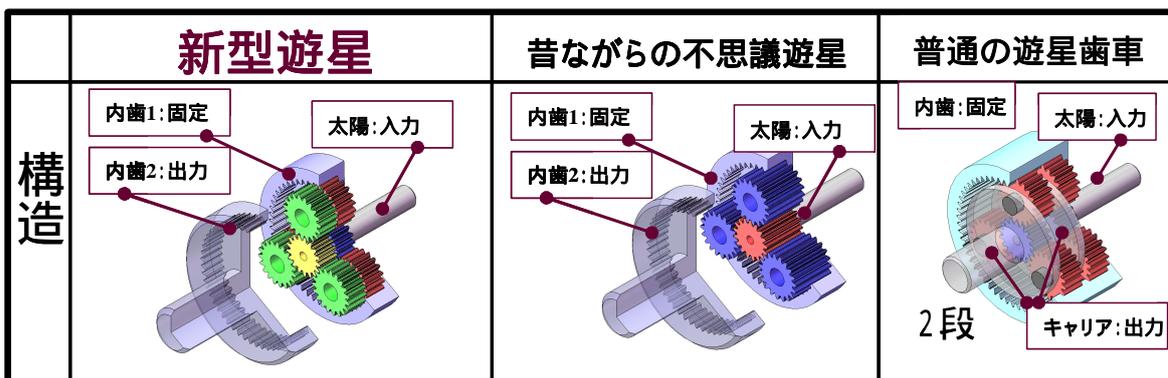
Nobuyoshi_sugi@yamato-ss.co.jp

第2章本論

1. 設計技術の開発

1. 設計手法の概要

(1) 減速機の原理



私の発明した新しい減速機は基本的に不思議遊星に近い。違いは、太陽、遊星、内歯が2段となっており、違う歯数の系列になっている。

	太陽(歯数)	遊星(歯数)	内歯(歯数)	減速比
不思議遊星	18	21	60	91
	18	21	63	

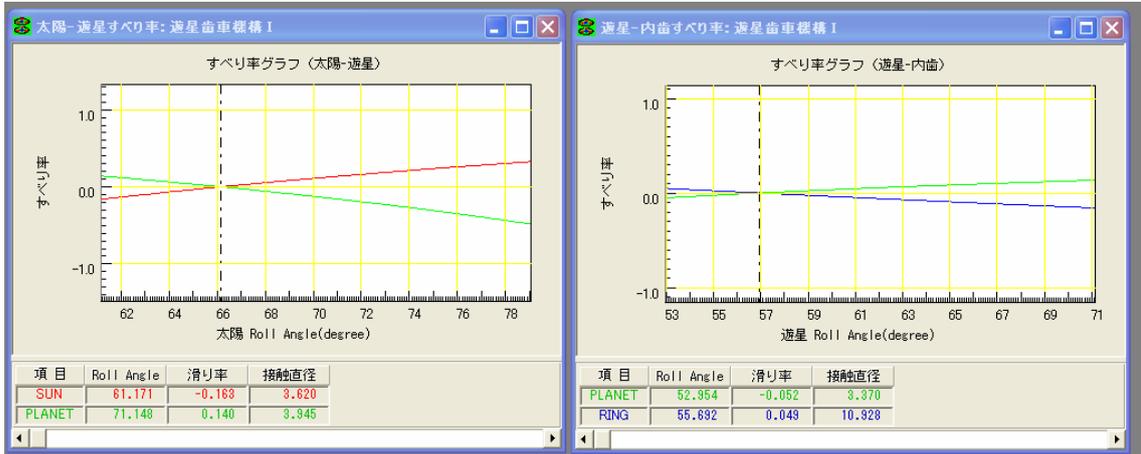
	太陽(歯数)	遊星(歯数)	内歯(歯数)	減速比
新型遊星	6	6	19	115
	7	7	23	

例として、上記の歯数で減速機を作ると、新しい減速機は、少ない歯数で大きな減速比を作り出すことが出来る。歯形状(モジュール)が大きくなるので、強い歯車を作り出すことが出来る。

(2) 効率を上げる

効率を上げるためにも、ハスバにすることは効果的である。即ち、基礎円が小さくなり、すべり率が下がる。言い換えると、すべりではなく転がりが増える。転がり摩擦係数はすべり摩擦係数の1/10程度であるので、摩擦損失が低下する。

(ハスバのすべり率)

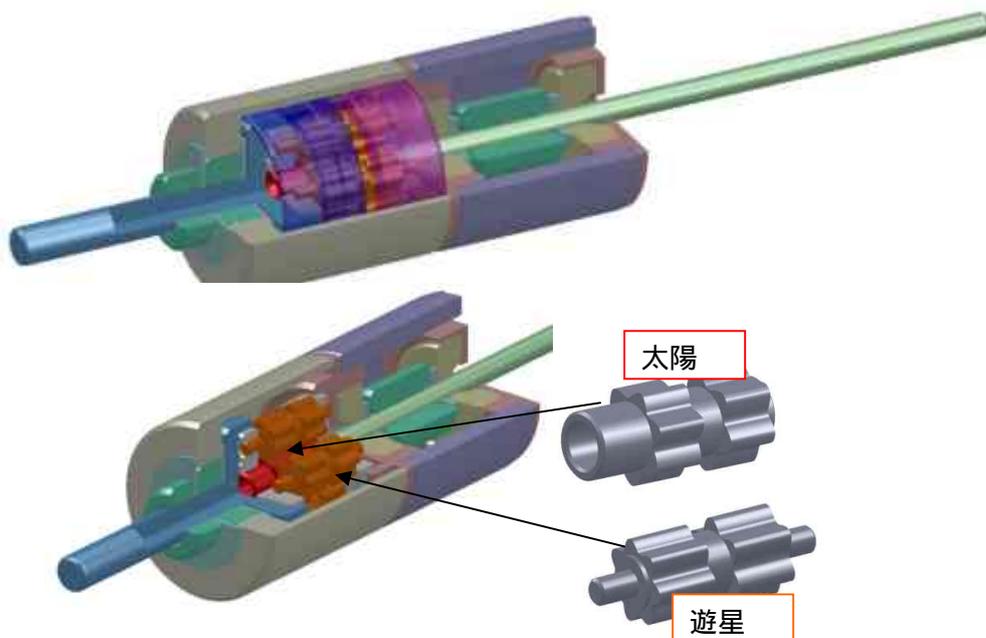
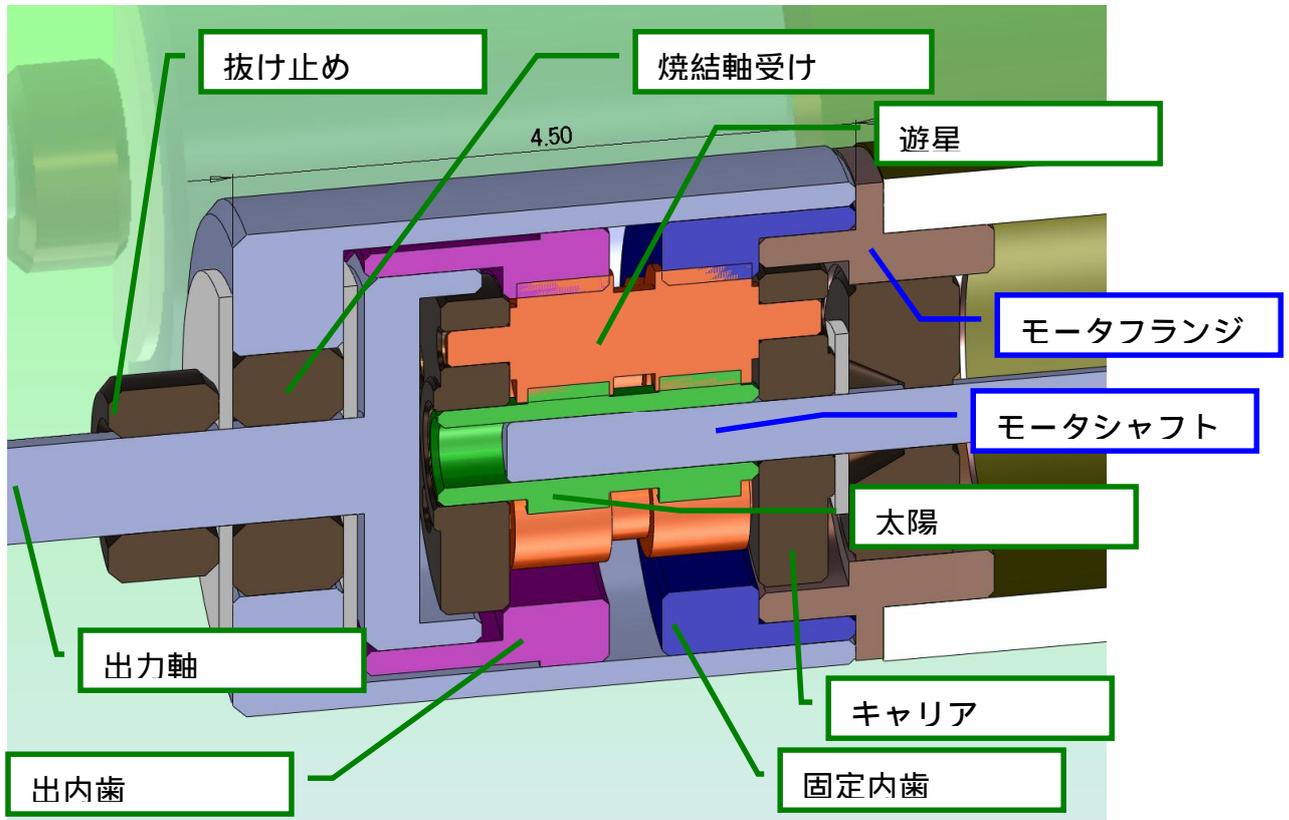


2. 外径 4 超小型減速機の試作

1. まとめ

		超小型減速機	
想定用途	医療用等の超小型のアクチュエータを想定		
減速比	115(3k-1型 平歯構成)		
歯数	(固定側)	太陽6歯-遊星6歯 - 内歯19歯(固定)	
	(出力側)	太陽7歯-遊星7歯 - 内歯23歯(出力)	
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・圧力角が極度に大きい50°のインボリュートの平歯で構成する。 ・NEDOの最新技術である金属ガラスによる型成形を遊星にてトライ ・その他部品は、機械加工 ・並木精密宝石㈱の詳細設計、製造(基本設計:イマデスト杉谷) ・モータの取り付けを考えた設計 		
試作目的	<ul style="list-style-type: none"> ・超小型を製作可能かを実際に確かめる。 ・世界最小を作った実績のある並木精密で、その優位性を検証する。 ・製品化を視野に入れた試作品を作り、精度を把握する。 ・超小型の効率測定技術等を確立する。 		
製造法	遊星	型	金属ガラスと切削(並木精密宝石)
	太陽		切削(並木精密宝石)
	内歯		放電ワイヤ(並木精密宝石)
	その他部品	研削	並木精密宝石
	組立		並木精密宝石
試作到達状況	設計	完	イマデストと並木精密宝石の共同
	部品製造	完	全て並木精密宝石で製造
	組み立て	半完	物が小さく、組み立て途中で組付け困難
性能評価	効率試験	未	組み立った物が回転しない。原因を探っている途中である。(並木精密宝石)
	耐久試験	未	並木精密宝石が担当
目標達成度	達成度:90%(加工:100% 組立:90 試験:10 現在、何とか組み付くが、上手く回転しないので、原因を探っている。 物としては出来た。今後、詳細を検討しながら評価する。		
備考	本試作は実際には極めて多くの労力と費用がかかったが、将来の技術として取り組んでいただいた並木精密には感謝する。本来ならば、共同体に加えるべきであった。		

2 . 構造



3 . 試作品のアッセンブリ状態



3 . 外径 1 2 超小型減速機の試作

(1) . まとめ

先行試作1に対応		超小型減速機	
想定用途	人型ロボット指間接、一般汎用想定		
試作概要	先行試作1の高効率化、高強度化、音対策とハスバ化		
減速比	115(3k - 1型 ネジ状のハスバ構成)		
歯数	(固定側)	太陽6歯-遊星6歯 - 内歯19歯(固定)	
	(出力側)	太陽6歯-遊星6歯 - 内歯23歯(固定)	
特徴	<p>製品に極めて近いレベルの試作品</p> <ul style="list-style-type: none"> ・従来技術に比して、同一体格で10倍以上の耐荷重性 ・転造技術を中心とした製造技術を完成し、安価で高効率 ・新しく発明したハスバ歯車の設計法を使用 <p>太陽・遊星の歯形状は、基準ピッチ円の他、歯先円、歯底円は等しく、ねじれ角が異なる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・製造法が初 ・太陽・遊星は板転造でつくる。 山歯構成であり、且つ、2種の歯車の隙間が狭い。 ・内歯は、多糸切削タップと多糸金属砥石によるラップで仕上(世界初) 		
試作目的	<p>超小型歯車の市場の於いて、主導権を確保することを目的に試作</p> <ul style="list-style-type: none"> ・全て小型のベアリングを入れた完全なギアボックス構成 <p>転造法の実証</p> <ul style="list-style-type: none"> ・転造により高精度に製造可能なことを実証 ・ハスバの内歯の製造法を確立 多糸のハスバが、超小型の減速機のコスト性能の鍵を握る。 超小型の効率測定技術等を確立する。 		
製造法	遊星	板転	型:OSG 転造:ハヤシプレシジョン
	太陽	板転	型:OSG 転造:ハヤシプレシジョン 三和ニードルでも型を作りトライしたが失敗
	内歯	タップ	タップ類:厚木機械 加工:三和ニードルベアリング
	その他部品	研削	三和ニードルベアリング
	組立		ヒーハイト精工
試作到達状況	設計	完	イマデスト、型の基本設計:イマデスト
	部品製造	半完	内歯の製造に於いてタップの精度が悪く再々試作中
	組み立て	半完	三和ニードル 試験機を製作中
性能評価	効率試験	未	
	耐久試験	未	
目標達成度	<p>・達成度:70% (転造加工:100% 内歯の加工:50% その他加工100%) 組立:0 試験:0</p> <ul style="list-style-type: none"> ・転造品の歯面は良く出来たが、精度測定が困難 ・内歯の加工が再々試作により遅れが発生 費用削減と納期の速さで、簡易的な砥石製作を試みたが結局、精度が出ず失敗した。 よって、費用がかかるがダイヤモンドドレッサーに変更し、内歯加工の為に砥石を製作中 ・歯形の測定を検討中 ハスバの角度の問題で、通常の測定が出来ないことが判明 = 現在トライ中 		
備考	<p>本試作は極めて重要な試作である。</p> <p>一つには、将来の産業である超小型ロボットや人型ロボットの鍵となり、その成功は社会的意味が大きい。現在のところ、数々の失敗を繰り返しながらも、何とか物になってきた。物が小さく技術的に難しいので試作は難航したが、技術的の山を越えた。</p>		

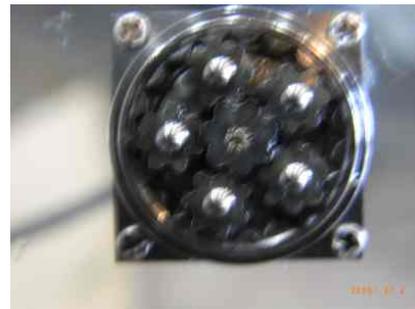
(2). 先行試作

注：

本研究は、日本の産業社会を大きく変える極めて有用な研究開発であると自負していたが、残念ながら、本予算では採用されず、補正予算で復活した研究である。また、補正予算の決定等が大きく遅れたので、時間的に余裕が極めて切迫した。そこで研究外の内容で11月まで先行して試作した。

先行試作 1

太陽	遊星	内歯
6	6	19
7	7	23



内容説明

減速比 115 であり、且つ、歯数の関係は本研究と同一である。

1. 優位性

- ・ 僅か 6 歯と 7 歯の組み合わせで、減速比 115 を実現
- ・ 超小型の減速機に向く

2. 製造法

- ・ 太陽、内歯、内歯とも、マシニングセンターで加工した。
内歯をハスバに加工する技術を見出すことが出来ずに、直歯(スグバ)となった。

試験結果と対策

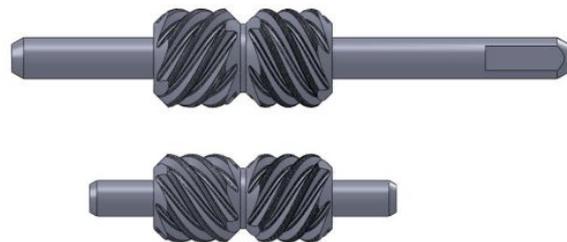
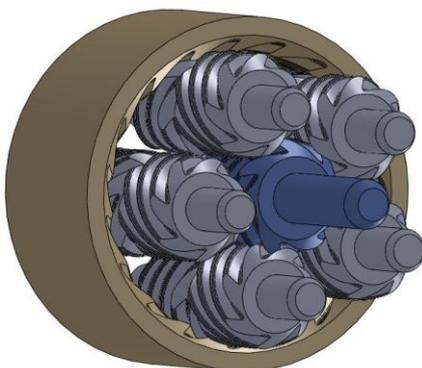
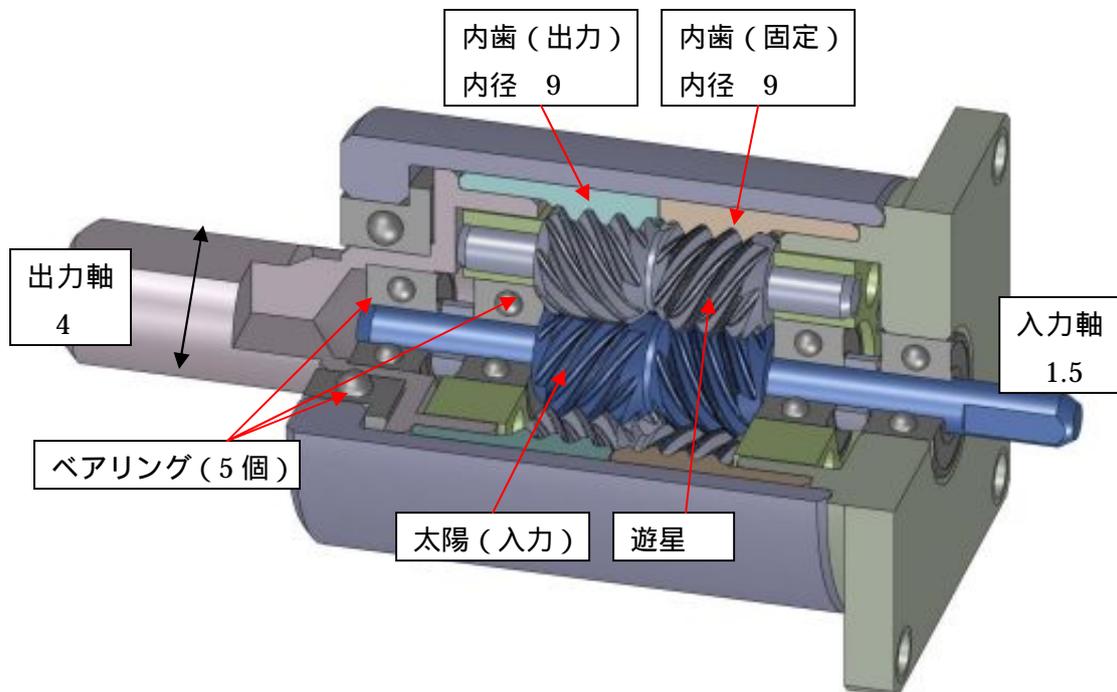
1. 音が大きかった。平歯で噛合い率が悪い為の当然の結果であるが、予想外の大きさであった。ハスバ化が必須であることが判明した。
2. 荷重をかけるとキャリア部から、遊星がはずれた。破損した。

キャリアの強度不足（設計上の問題）

本機構は、原理上、どうしても、上下の内歯の間でねじれ力が働く。

その為、結果的に遊星を太陽方向に押す力となる。したがって、遊星を保持するキャリアに、遊星から太陽中心に向かう力が発生する。

3. 構造



(構造について)

先行実験によって得られた知見を元に、改良試作した。

一見して分るように、超小型ではあるが、ベアリングを入れた完全なギアボックスとなっている。また、ハスバによって、何組もの歯車が噛合い、歯数が少なくその歯車もモジュールも大きいことから、極めて高強度を実現している。従来技術では、例えば人の指先を考えた場合、その体格では1/10しかだすことが出来なかったが、この歯車では、機械が人を上回る力を出せる可能性がある。

転造による変形について



転造前の形状

写真に転造前の形状(転下)を示した。転造される端部は通常面取りをされている。60°程度が理想である。その面取り部が徐々に転造されていくので、仕上がりは、45°程度となる。

4.油圧式（ツガミの 100 t ）による 転造の研究

1.新しい歩き転造法の研究の概要

・目的

従来の技術では 転造は安価に製造出来る加工法であるが高精度の加工はできなかった。そこで、新しい発明された直動機構は、加工が非常に難しい凹形の形状、即ち、ネジと平歯を兼用する部位が存在する。したがって、転造技術そのものを研究することが避けられなかった。そこで、逆に好機であるにとらえ、それを題材として、歩き（通し）転造法を確立することとした。

本研究では、塑性加工である転造技術を研磨並の精度を確保し安価に製作することを目的とする。即ち、転造に変更することで、加工時間は 1/10 以下となり、日本でも十分に、労働賃金の安さを武器とした海外の加工品に対抗できるし、省エネルギーに役立つ基盤の技術を開発する。

・研究内容

1. ツガミ製ロール転造機の製作（従来型の油圧転造機の検証と改造）



表示機

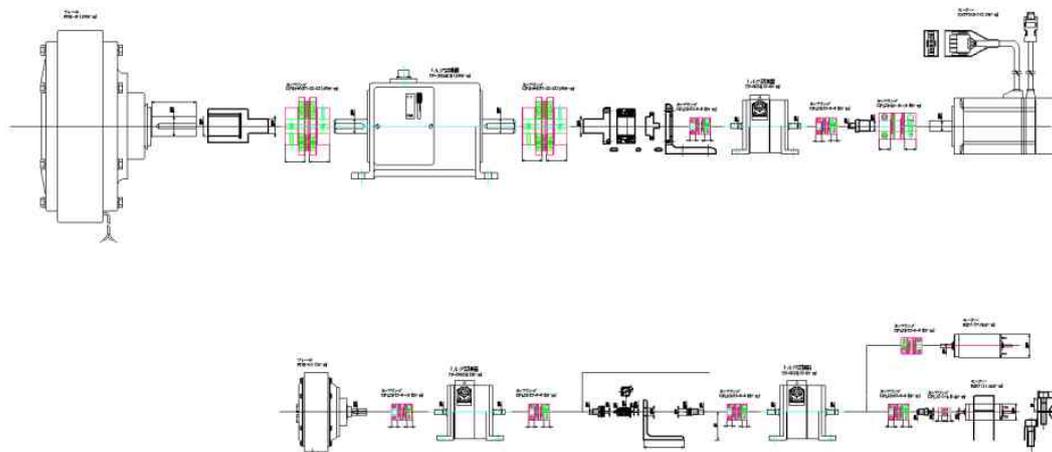
- ・ ロータリーエンコーダー
- ・ トルクセンサ等

写真

納入されたロール
転造機の遠景遠景

場所：ツガミの長岡工場
に於いて

5.性能測定ジグの開発



測定ジグは、現在部品を購入し組立て途中である。

	体格	最大定格 Nm
超小型	4	0.05
超小型	15	2
小型	25	8
中型	52	100
大型	95	5000

最大定格を表のように仮定し、超小型と中型を測定するジグを作る。

順次、測定ジグは作っていくが、部品を共用するように検討している。

効率は、入力回転数と入力トルク、出力トルクが分れば計算できる。

よって、必要な主な部品は、トルクセンサ（2 個）、モータ、負荷（電磁ブレーキ）である。