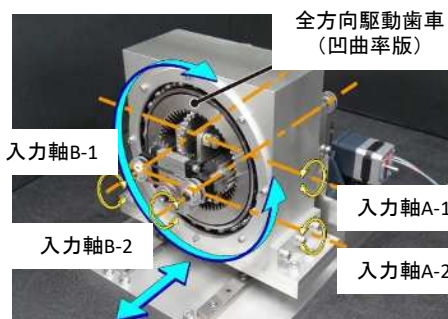
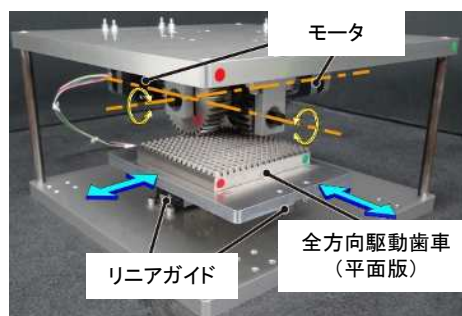
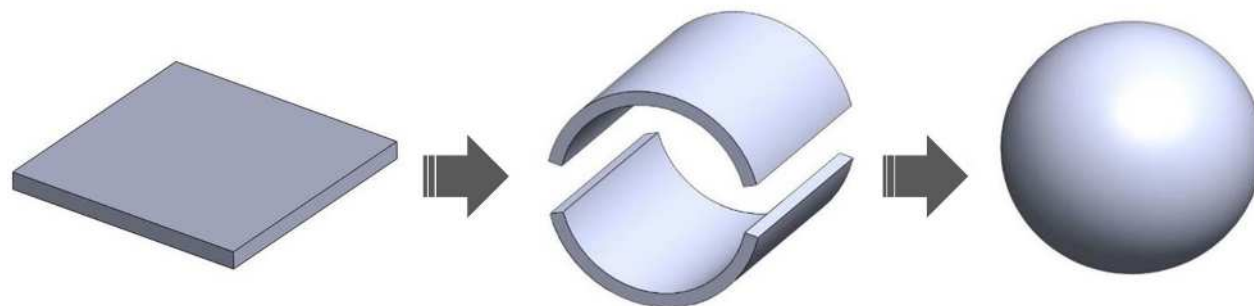


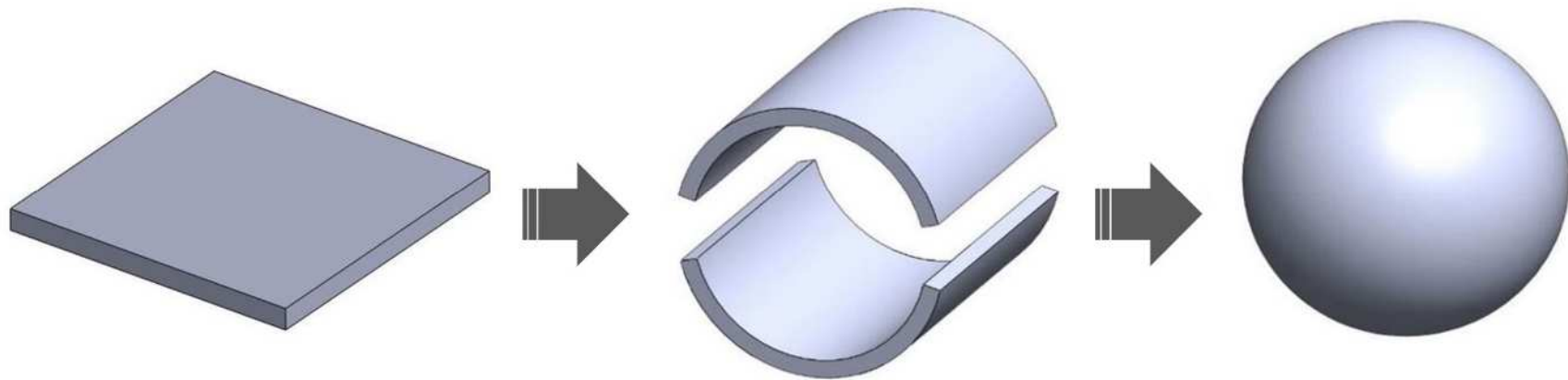
# 全方向駆動歯車機構の 原理創案・具現化



2021年9月11日

山形大学工学部 准教授 多田隈 理一郎

# 全方向駆動歯車機構の原理展開

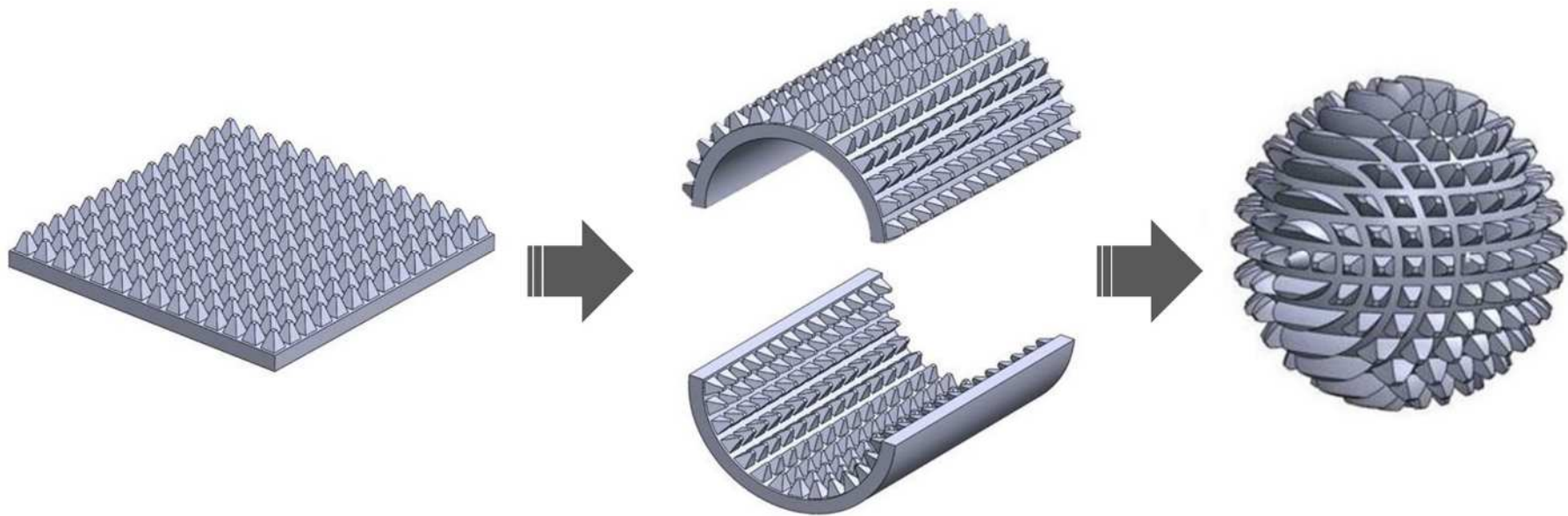


曲率ゼロの平面

正・負の曲率を  
有する曲面

球体

# 全方向駆動歯車機構の原理展開



曲率ゼロの平面

正・負の曲率を  
有する曲面

球体



多田隈建二郎と  
研究開発を共に実施.

共に「位相機構」の  
概念を提唱.

解説

全方向移動・駆動の機巧

Ingenious Mechanisms for Omnidirectional Mobile and Driving

多田隈 建二郎\* \*大阪大学  
Kenjiro Tadakuma\* \*Osaka University

1. はじめに

本論文では、これまでに研究開発されてきた、全方向移動ロボットの機構に関して、その共通項を見出し、体系づけて説明することを試みる。全方向移動・駆動とは、より正確に言うとも任意方向移動・駆動であると筆者はとらえている。前稿となる Vol.29 No.6 での論文においては、ホロノミックな全方向移動を行う機構を主に説明させて頂いた。本稿において、取り扱う機構は、ステアリング方式（例えば文献 [1]~[5]）のような、機構全体のヨー軸周りの向きを変化させる方式以外のものに限定するもの、2 軸を有する入力機構としての観点から、全方向車輪を包括的に説明することを試みる。

まず第 2, 3 章においては、基本となる二つの全方向移動の構造と、その組み合わせによる方式について、さらに第 4 章においては、環境に直接接触するか、間接的に接触するかで分類して構造をとらえる上での新しい考え方について説明する。

2. 全方向移動・駆動におけるユニット構造

2.1 基本 2 構造：トラス型・球体型

全方向移動・駆動を実現するにあたり、入力用の機構は大別すると、図 1(a), (b) にそれぞれ示すように、トラス



図 1 Two basic input mechanisms

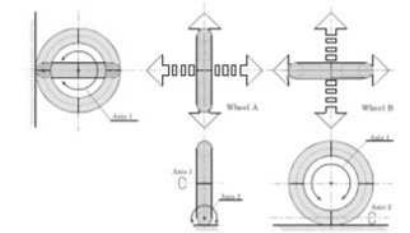
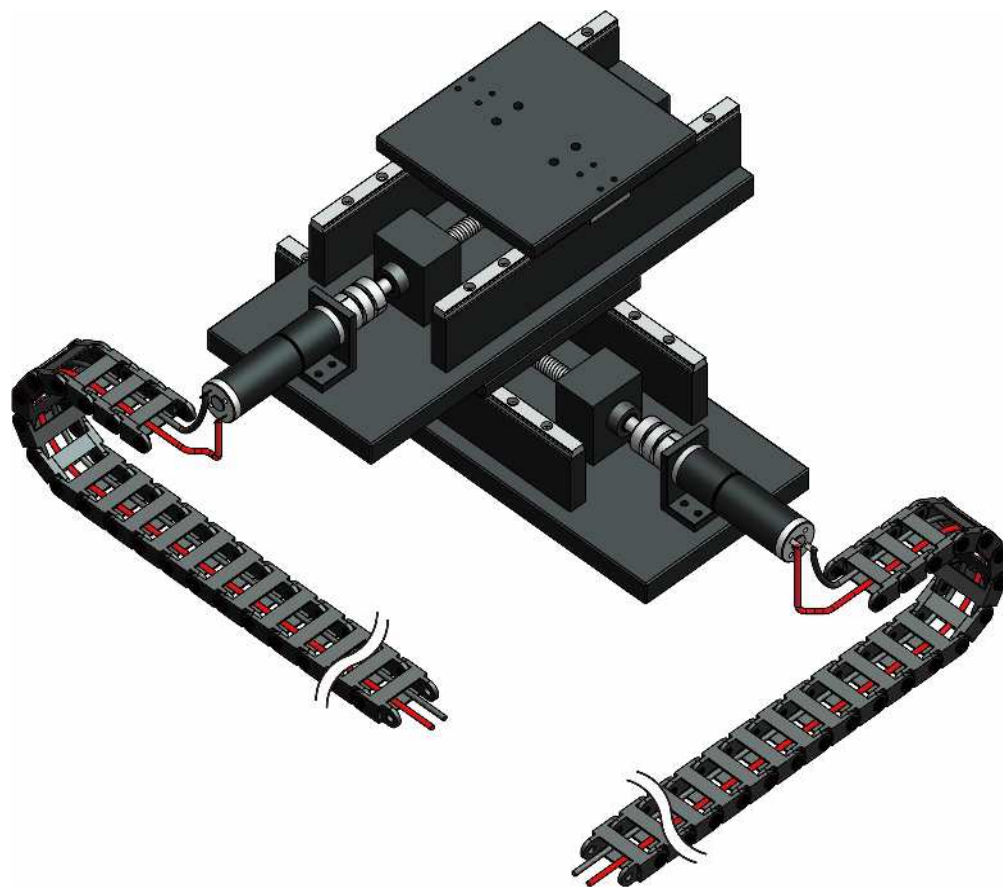


図 2 Combinational configuration with torus mechanism

表 1 Categorization of the input mechanisms for omnidirectional mobile and driving mechanism



# 全方向駆動歯車の研究背景

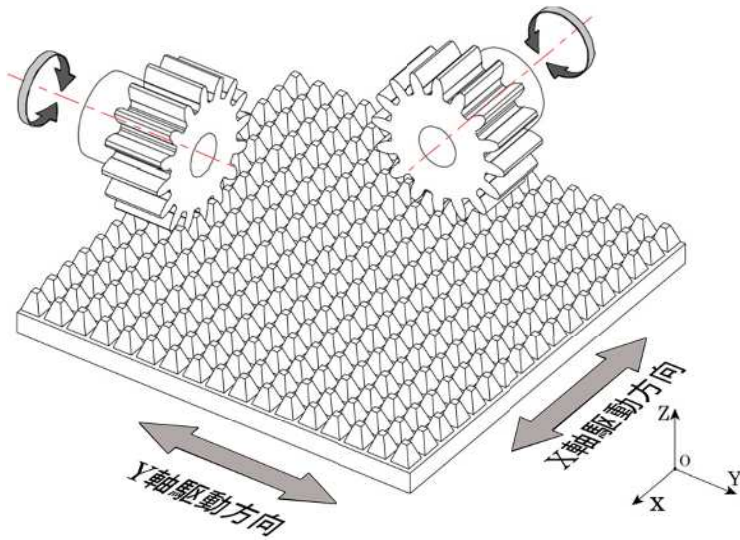


従来のX-Y ステージ

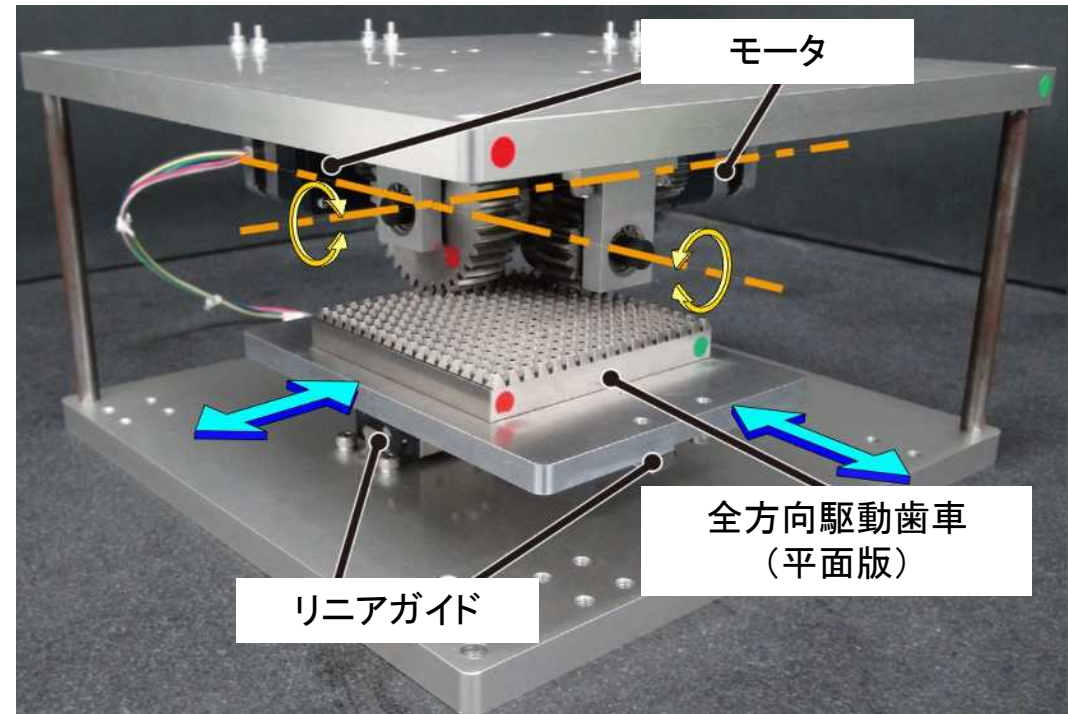
## 問題点

- ・下段のモータは  
上段のアクチュエータ  
も含めて駆動  
→ 慣性力の増大
- ・配線・配管による  
動作の妨げ
- ・小型化・軽量化の  
設計が困難

# 全方向駆動歯車(平面版)



全方向駆動歯車(平面版)



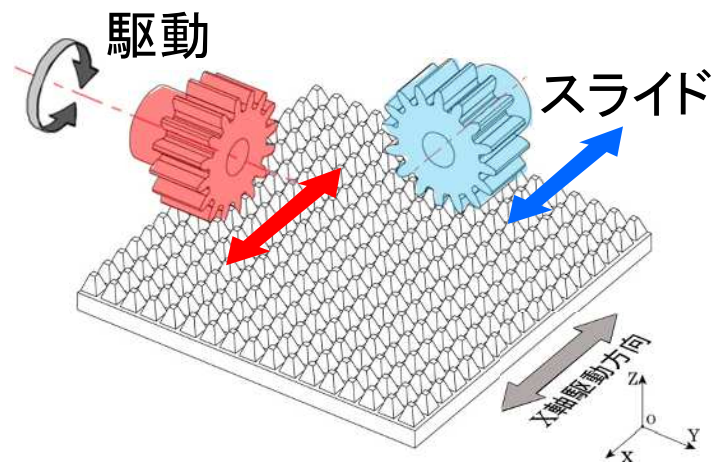
全方向駆動歯車(平面版)  
駆動ユニット

# 全方向駆動歯車(平面版)の基本動作

Planar Version of  
Omnidirectional Gear

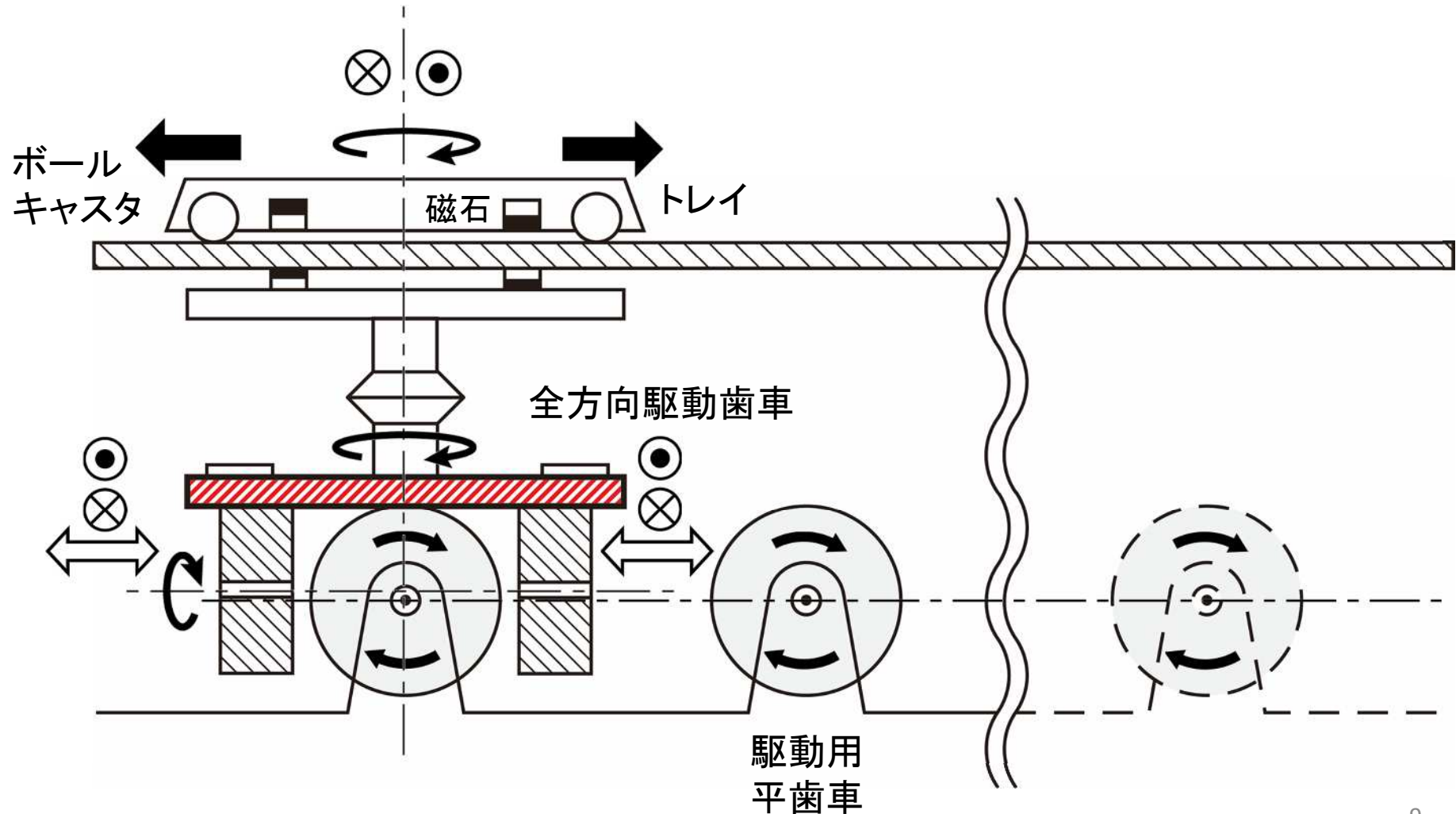
# 全方向駆動歯車機構の基本原理

- ラックが2軸直交するように歯切りした面が存在  
(切り溝の成す角度は入力歯車次第では直角に限定されない)
- 入力機構として、2つの平歯車が回転軸を90度ずらして配置。  
歯車の回転軸と直角方向： 能動. 歯車の回転により、駆動力を生成。  
歯車の回転軸方向： 受動的な滑り接触。
- 上記の2軸の入力回転数の組合せにより、全方向へ面状体は移動可能。

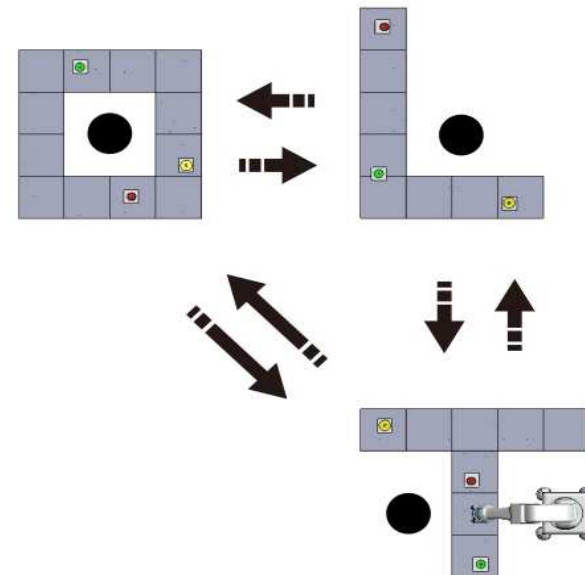
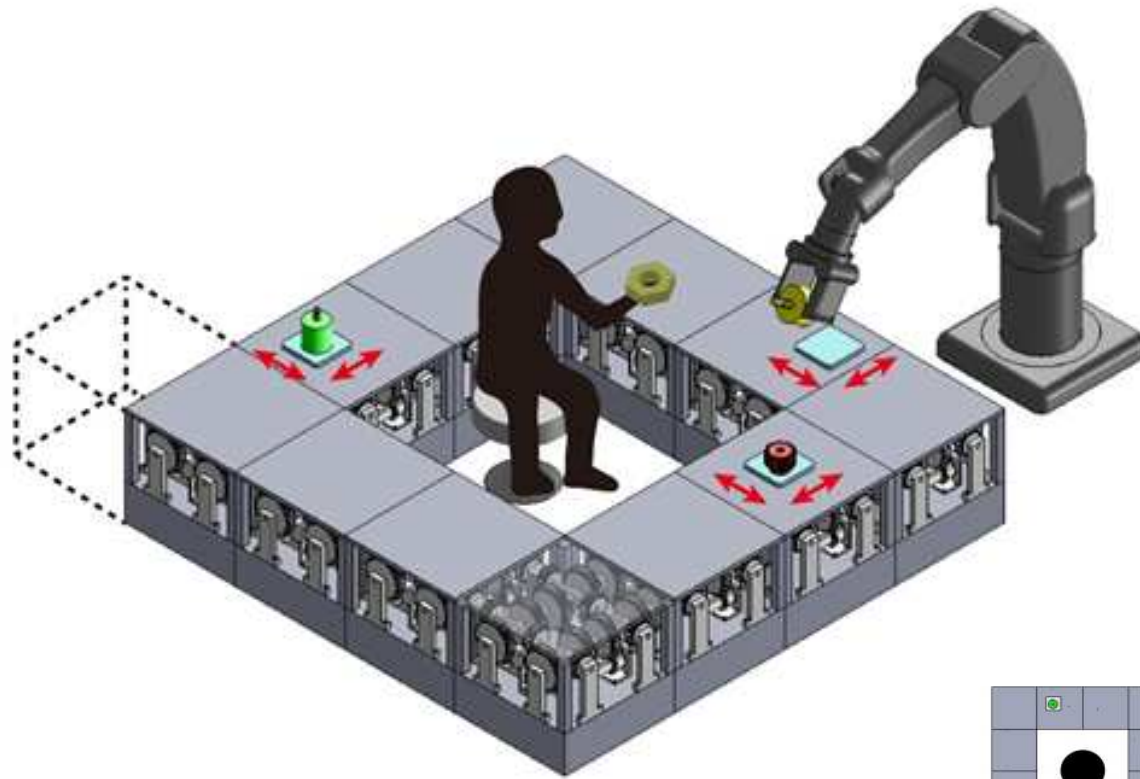




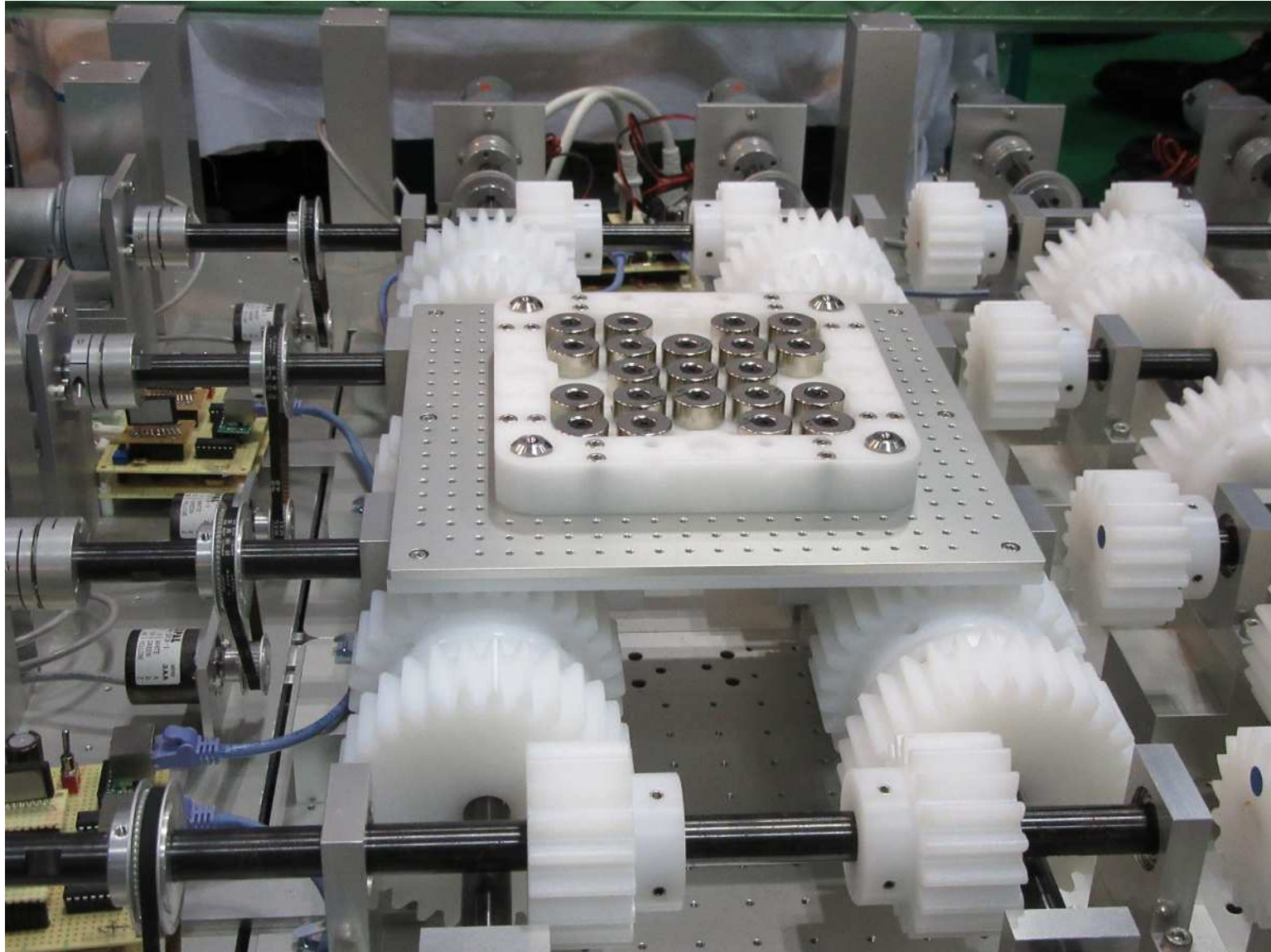
# 全方向駆動歯車応用例： 全方向物体搬送テーブル



# 全方向物体搬送テーブルを用いたセル生産の柔軟な補助



# 全方向物体搬送テーブル



# 全方向物体搬送テーブル

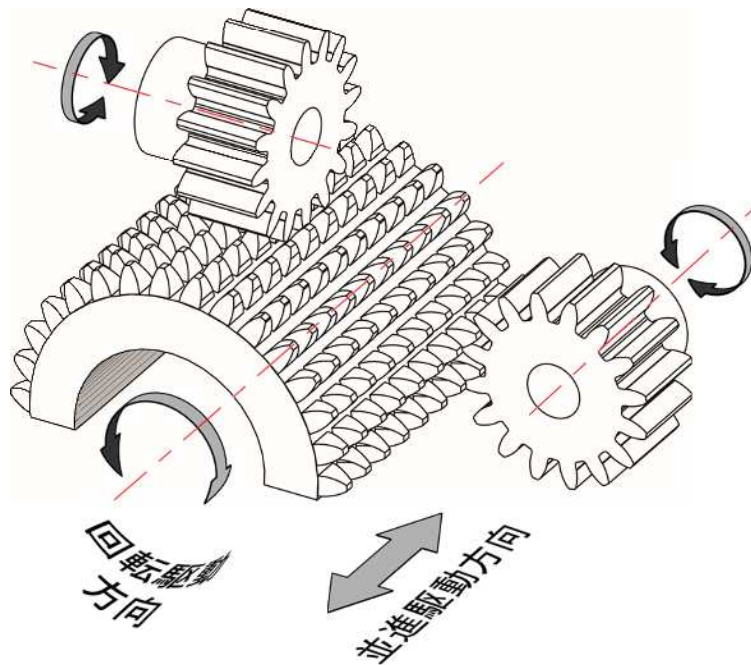
Development of  
the Omnidirectional Transporting Table  
based on Omnidirectional Driving Gear

Kazuki Abe (Yamagata Univ.),  
Kenjiro Tadakuma (Tohoku Univ.),  
Mitsuhiro Yamano (Univ. of Shiga Pref.),  
Gaku Matsui (Yamagata Univ.),  
and Riichiro Tadakuma (Yamagata Univ.)

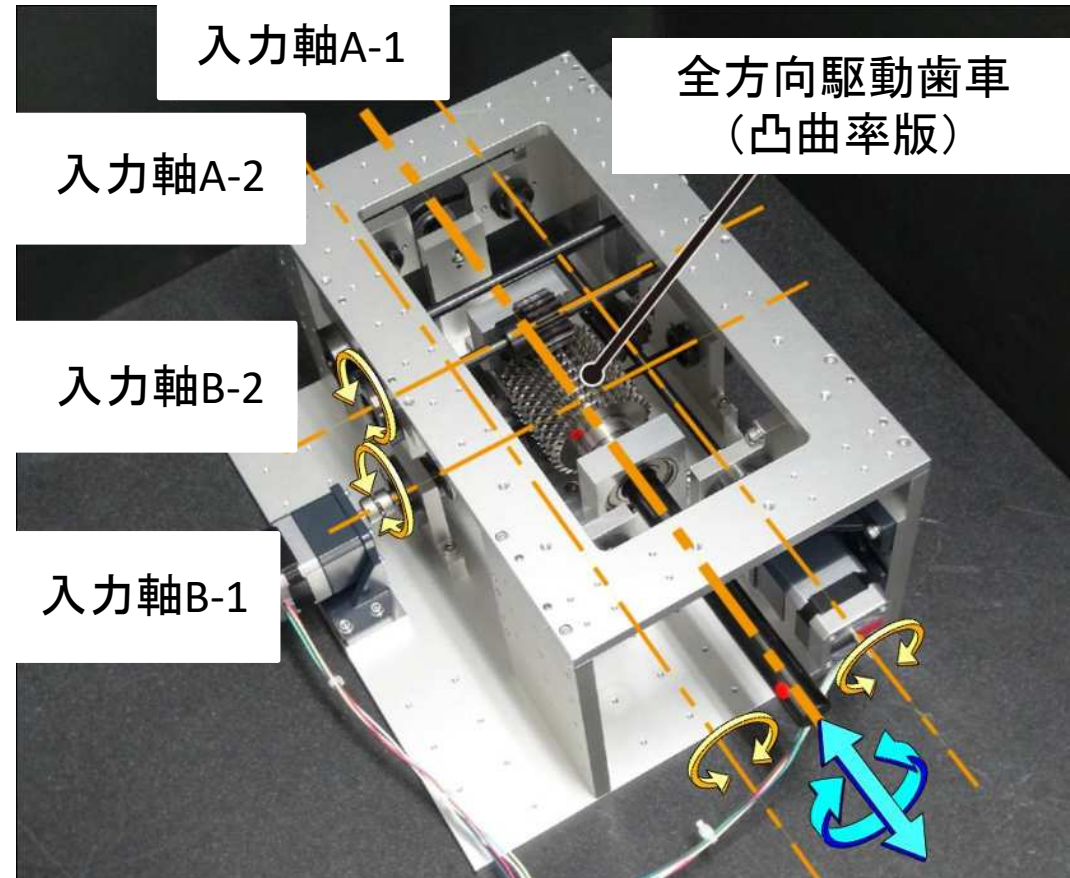
## 【参考文献】

Kazuki Abe, Gaku Matsui, Kenjiro Tadakuma, Mitsuhiro Yamano, Riichiro Tadakuma,  
“Development of the omnidirectional transporting table based on omnidirectional driving gear”,  
Advanced Robotics 34(6) 358-374 2020.3.18

# 全方向駆動歯車(凸曲率版)



全方向駆動歯車(凸曲率版)

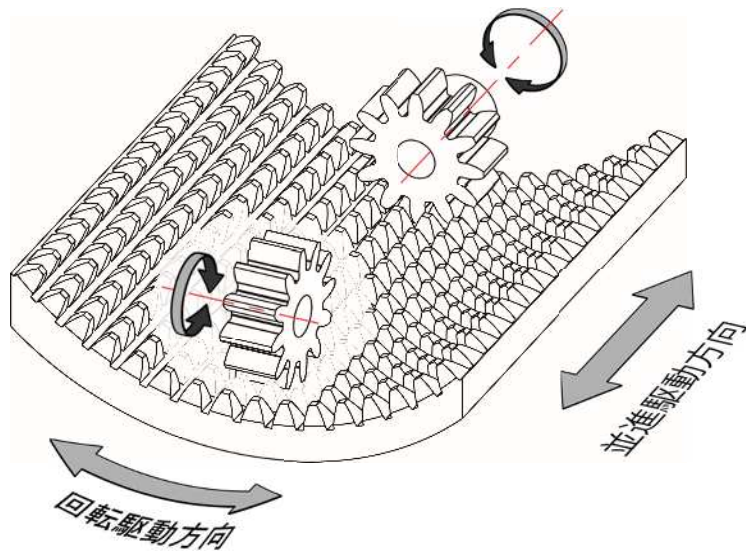


全方向駆動歯車(凸曲率版)  
駆動ユニット

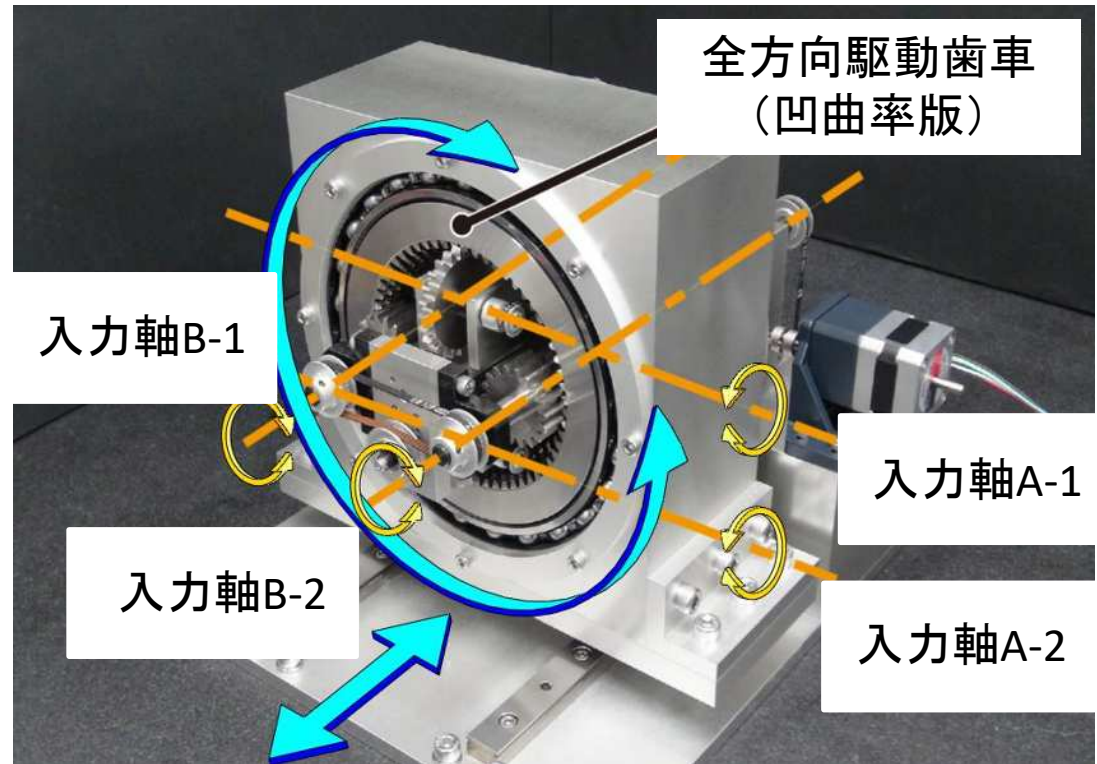
# 全方向駆動歯車(凸曲率版)の基本動作



# 全方向駆動歯車(凹曲率版)



全方向駆動歯車(凹曲率版)



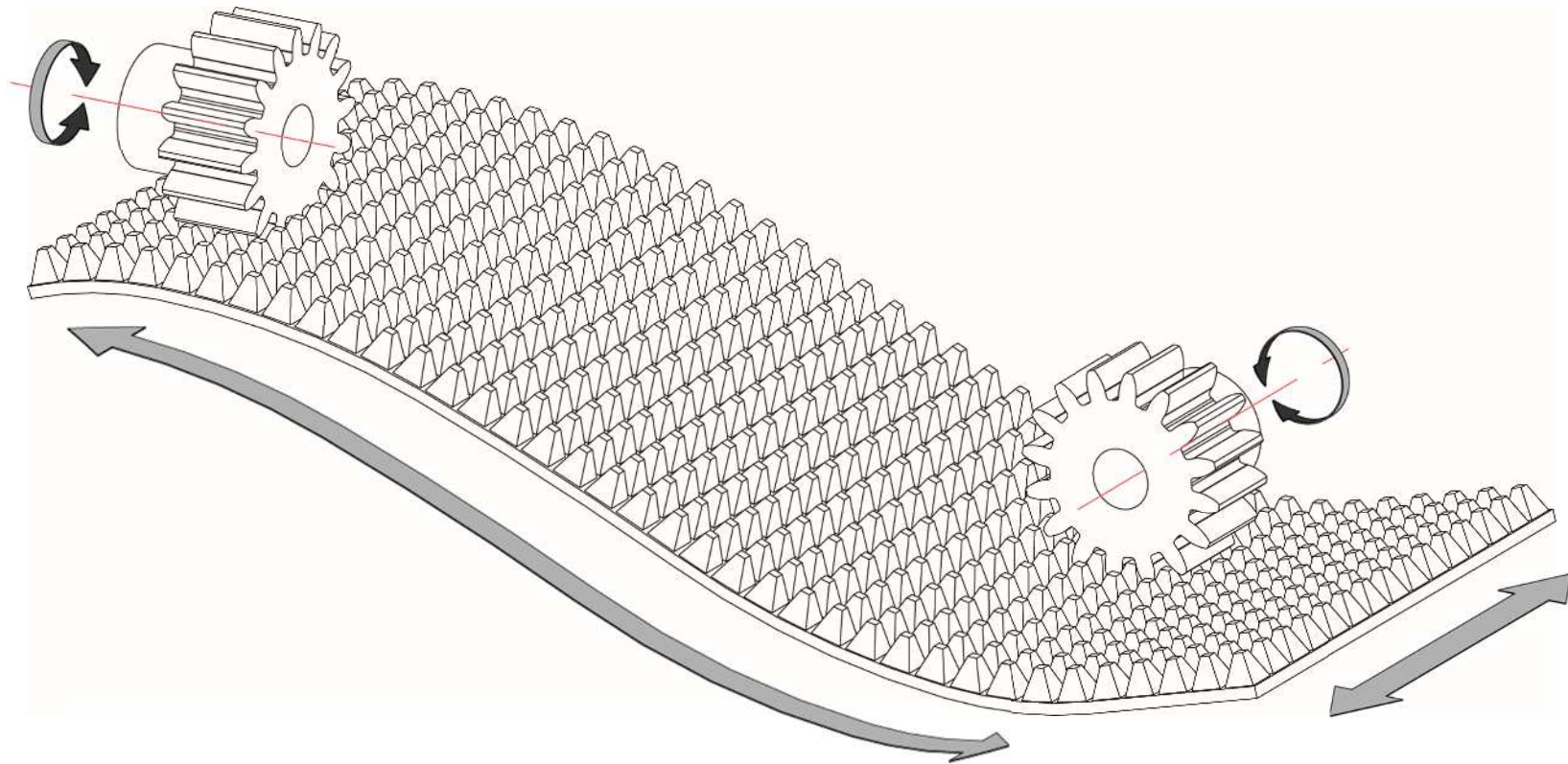
全方向駆動歯車(凹曲率版)  
駆動ユニット

# 全方向駆動歯車（凹曲率版）の基本動作

Concave Version of  
Omnidirectional Gear

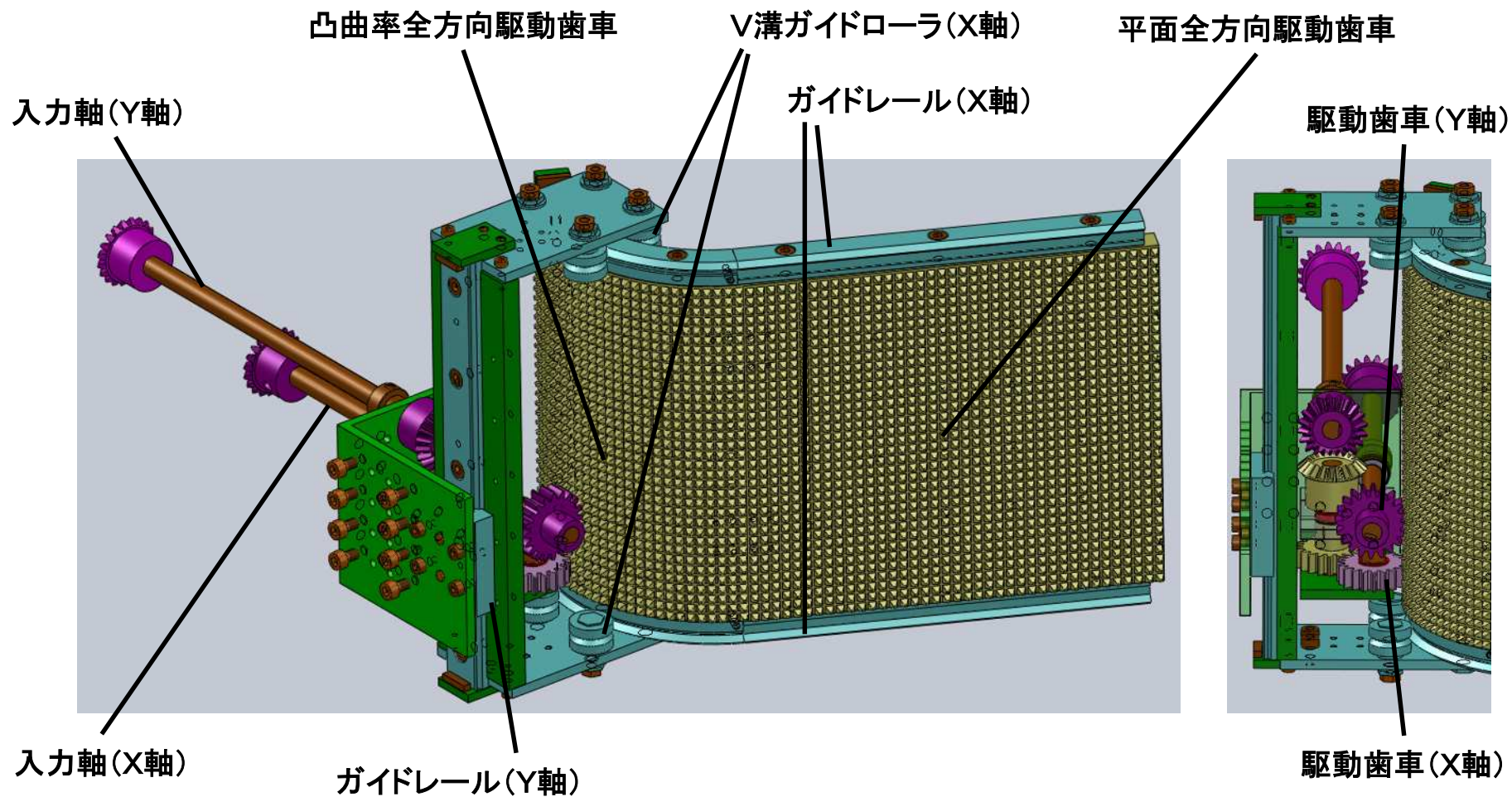


# 0, 正, 負の曲率で 全方向駆動歯車を駆動できることを確認



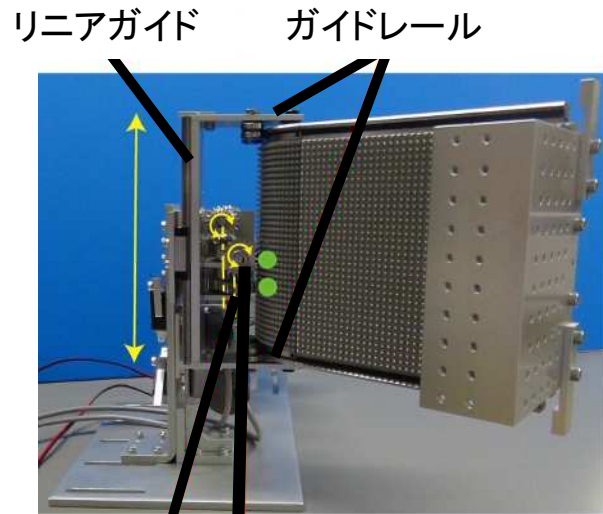
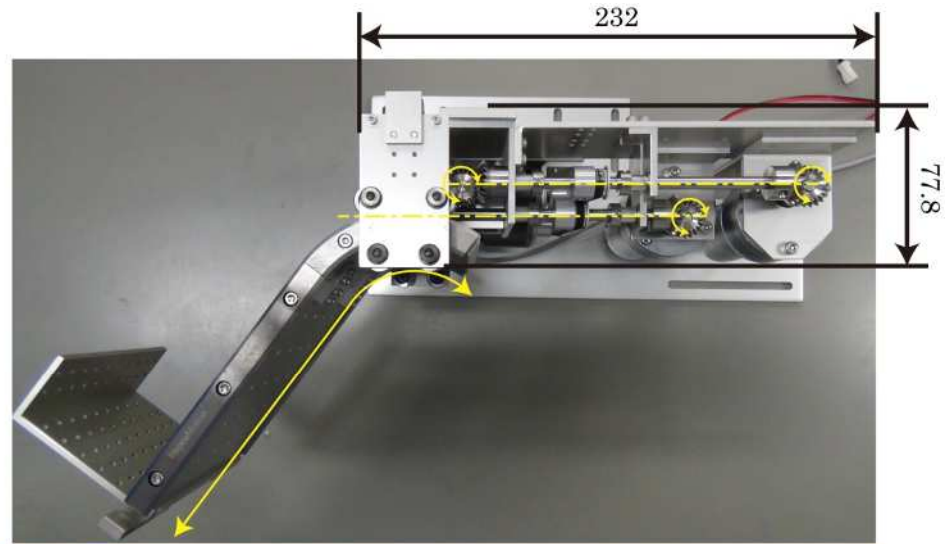
**➡ 自由曲面に対応可能**

# 「J型」全方向駆動歯車の機構



# 試作機の仕様

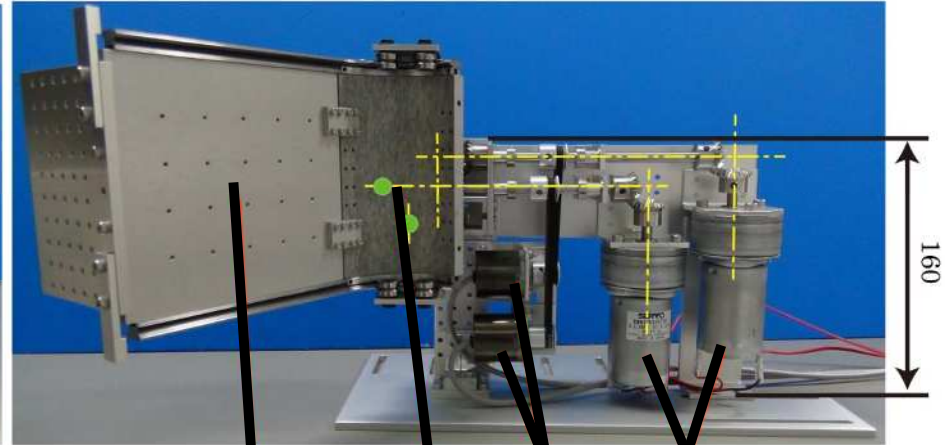
スライドする接点 ●



リニアガイド

ガイドレール

入力用平歯車



全方向駆動歯車(平面版)

全方向駆動歯車(凸曲率版)

エンコーダ モータ

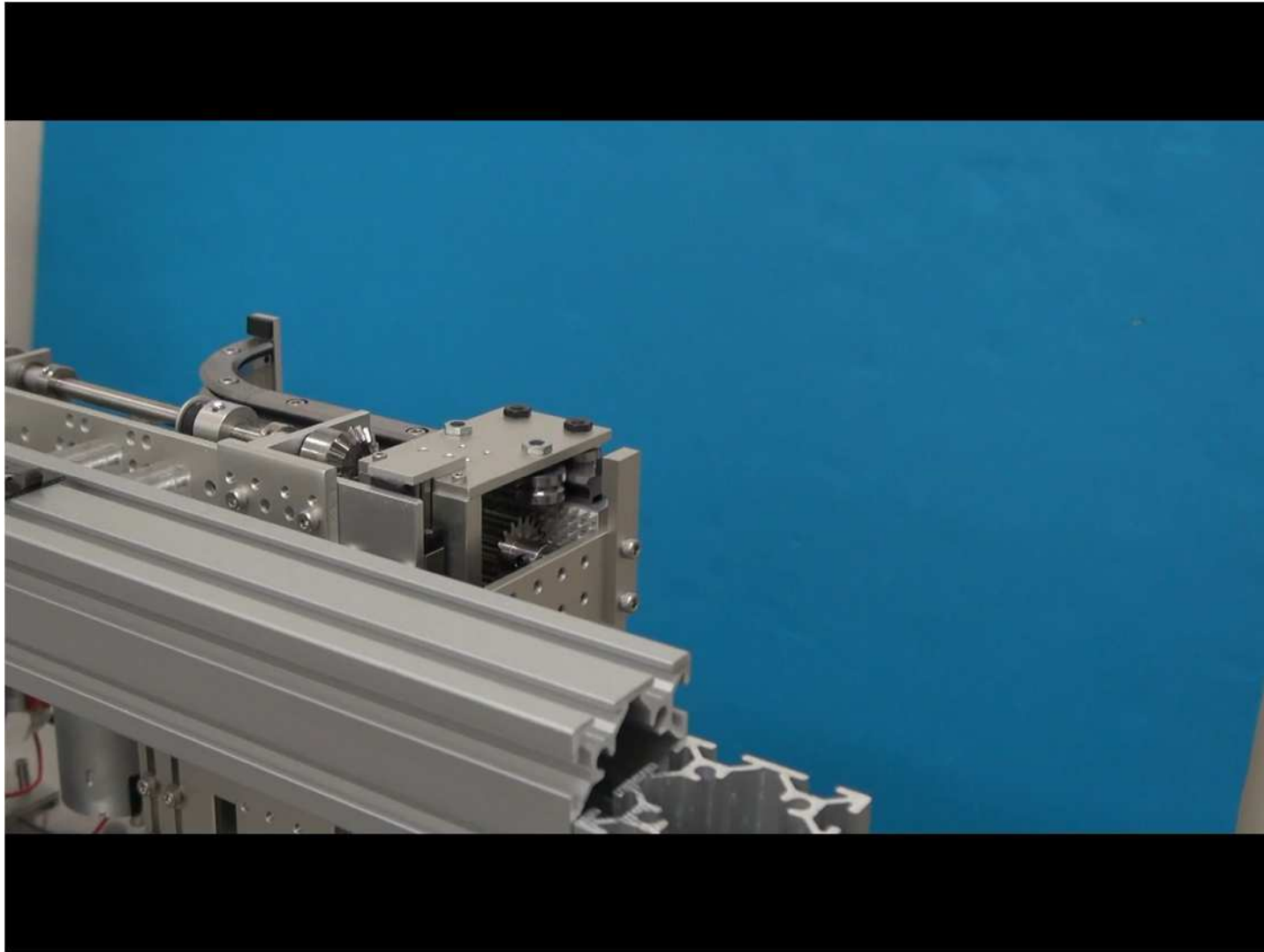
歯車の仕様

:モジュール1 A7075

被駆動部重量

: 784[g]

# 「J型」全方向駆動歯車の基本動作

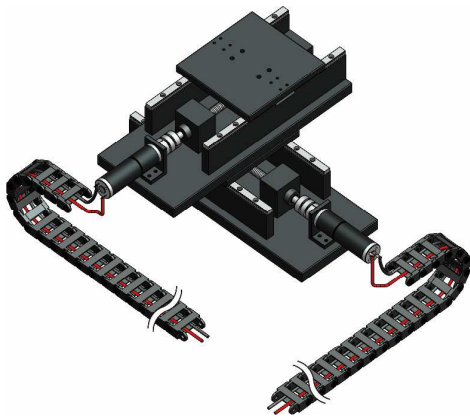


## 【参考文献】

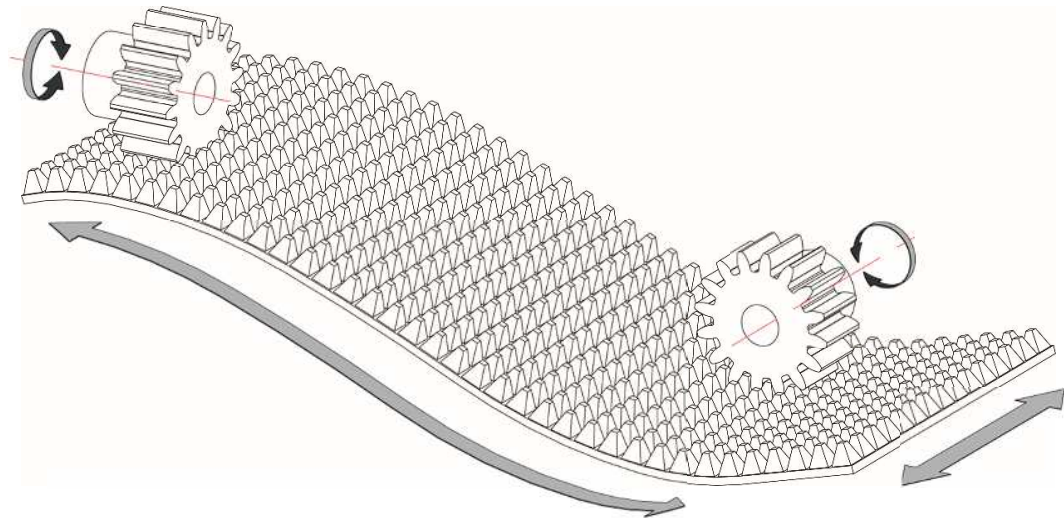
高木 稔, ムワイ・モーセス・ムキラ, 多田隈 建二郎, 多田隈 理一郎, “自由曲面に対応した全方向駆動歯車の研究”, 日本ロボット学会誌 36巻 7号 pp.497-507 2018.10

# 全方向駆動歯車の特長

- 従来技術で上下2段構造だったX-Yステージを1段構造にでき、小型・軽量化が可能
- 任意の曲率を有する自由曲面上で、任意方向への動力伝達が可能

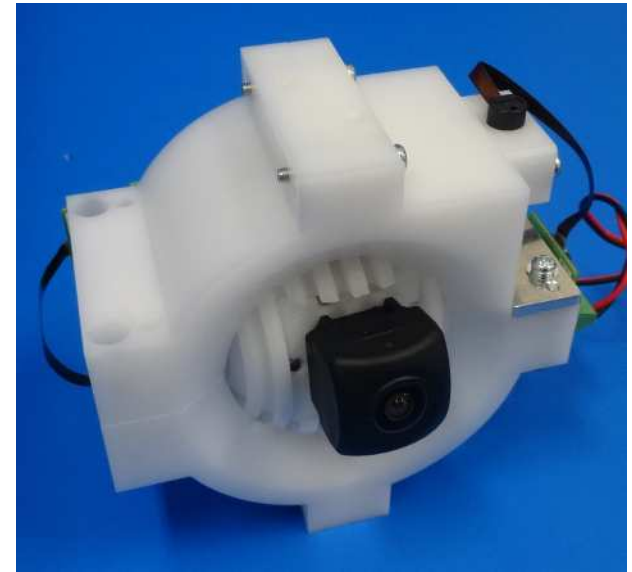
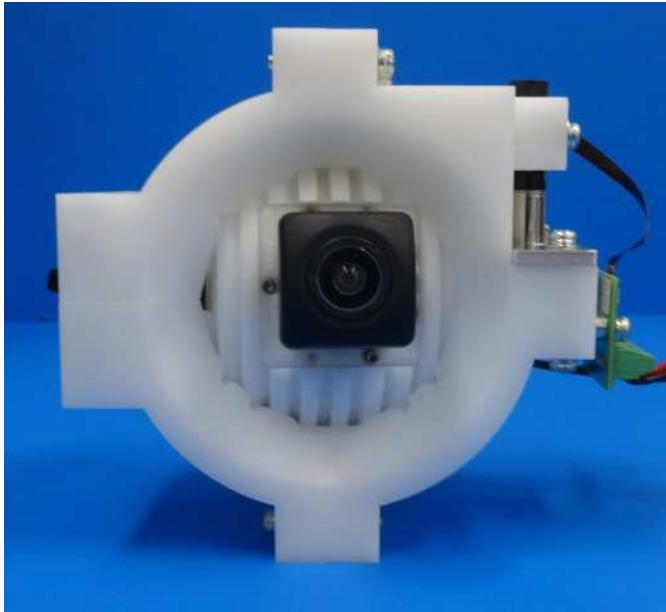


従来のX-Y ステージ



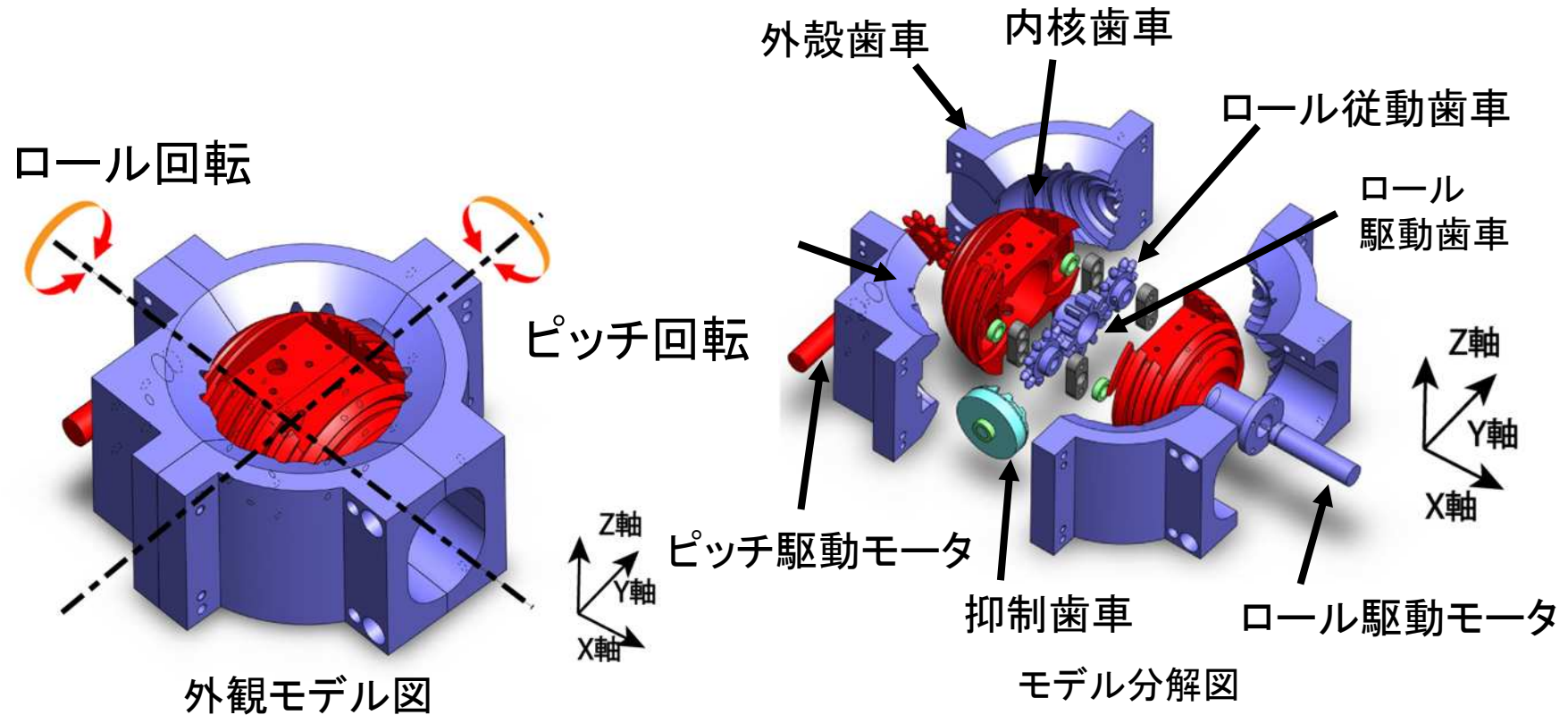
自由曲面に対応可能

# 球状全方向駆動歯車



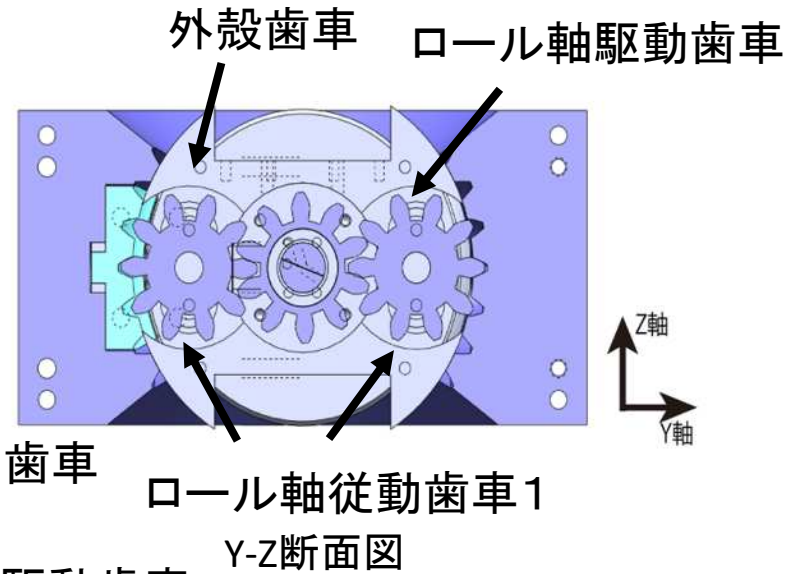
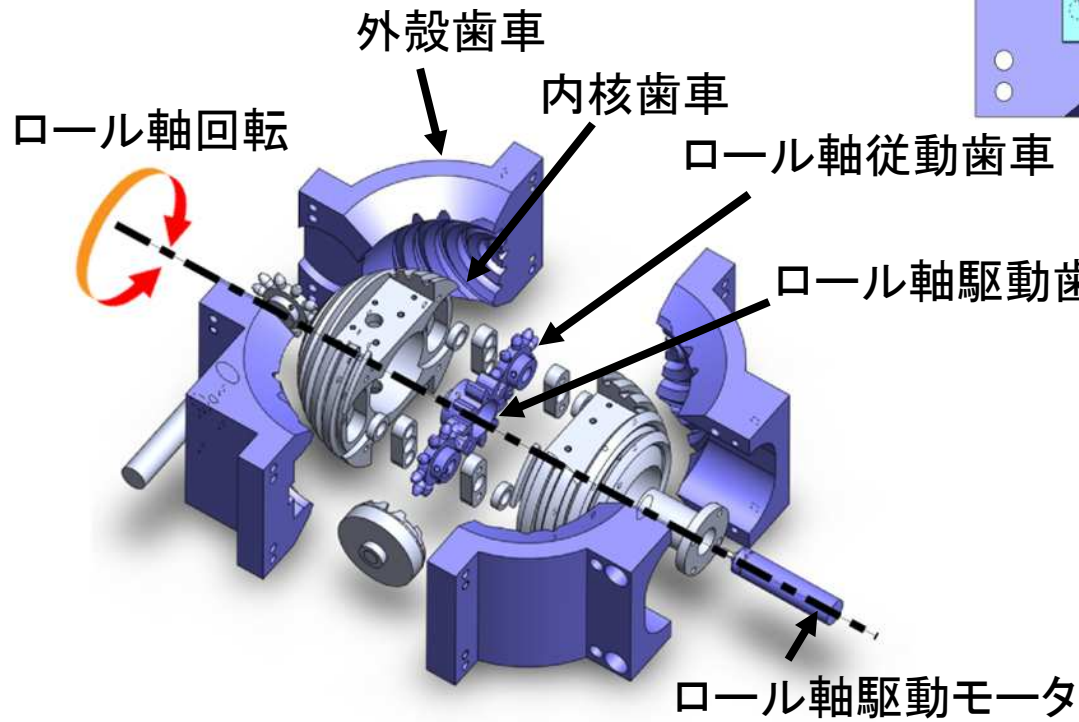
出力・重量比の高い小型・軽量アクチュエータ

# 球状全方向駆動歯車の構成要素



回転2自由度を有する球状全方向駆動歯車

# ● ロール軸駆動機構

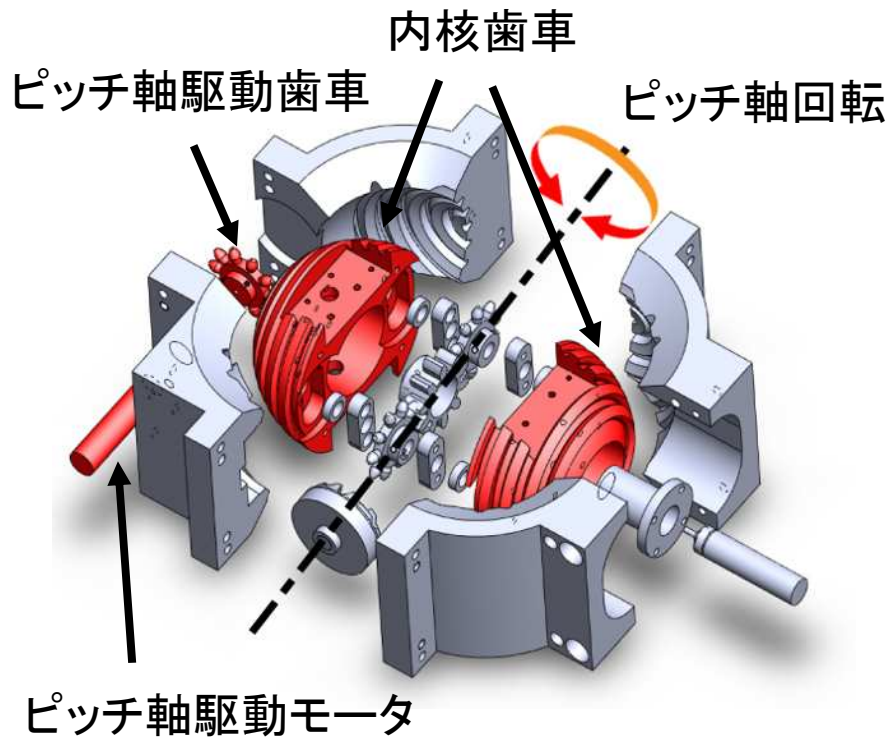


1. ロール軸駆動歯車
2. ロール軸駆動歯車に噛み合う従動歯車
3. 従動歯車に外殻歯車

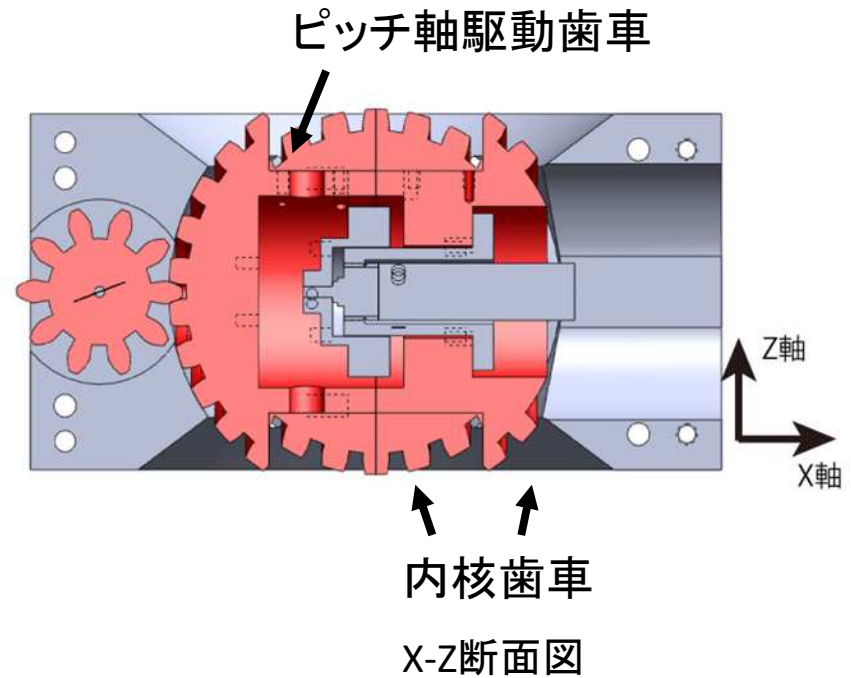
ロール軸駆動機構の構成部品



# ● ピッチ軸駆動機構

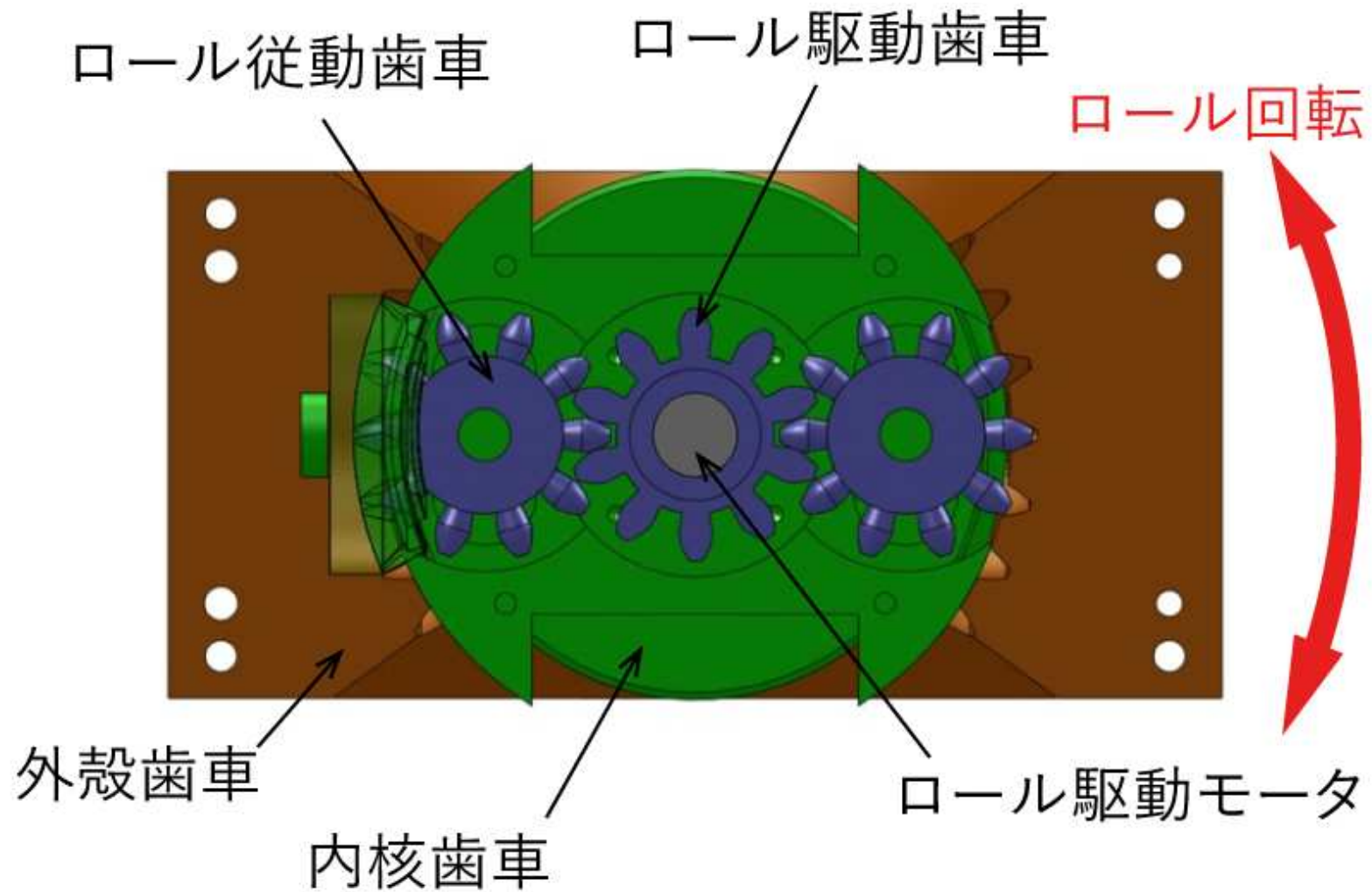


ピッチ軸駆動機構の構成部品

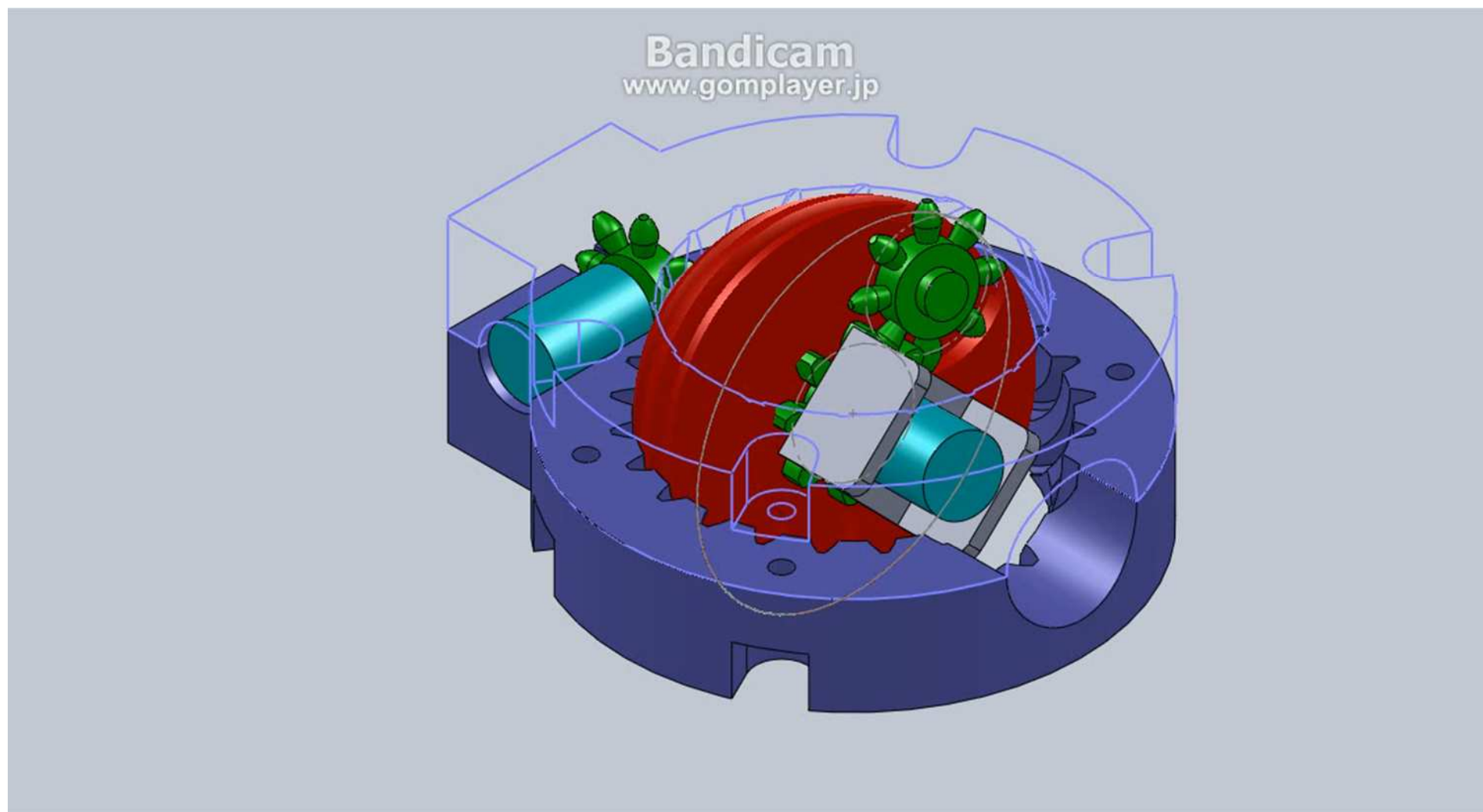


1. ピッチ軸駆動歯車
2. ピッチ軸駆動歯車に噛み合う内核歯車

# 球状全方向駆動歯車の内部構造

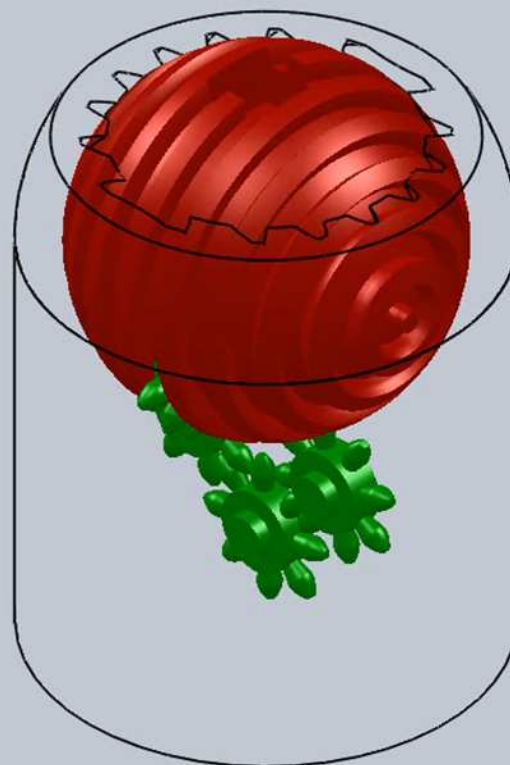


# 球状全方向駆動歯車の内部構造



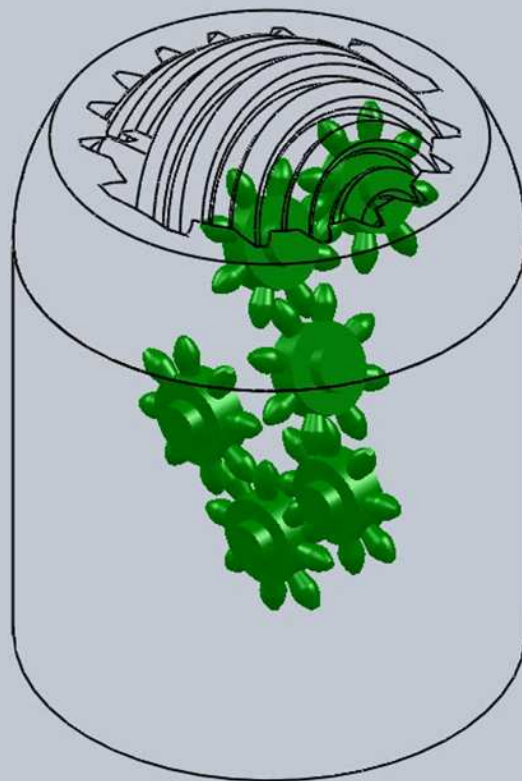
# 球状全方向駆動歯車の内部構造

Bandicam  
www.gomplayer.jp

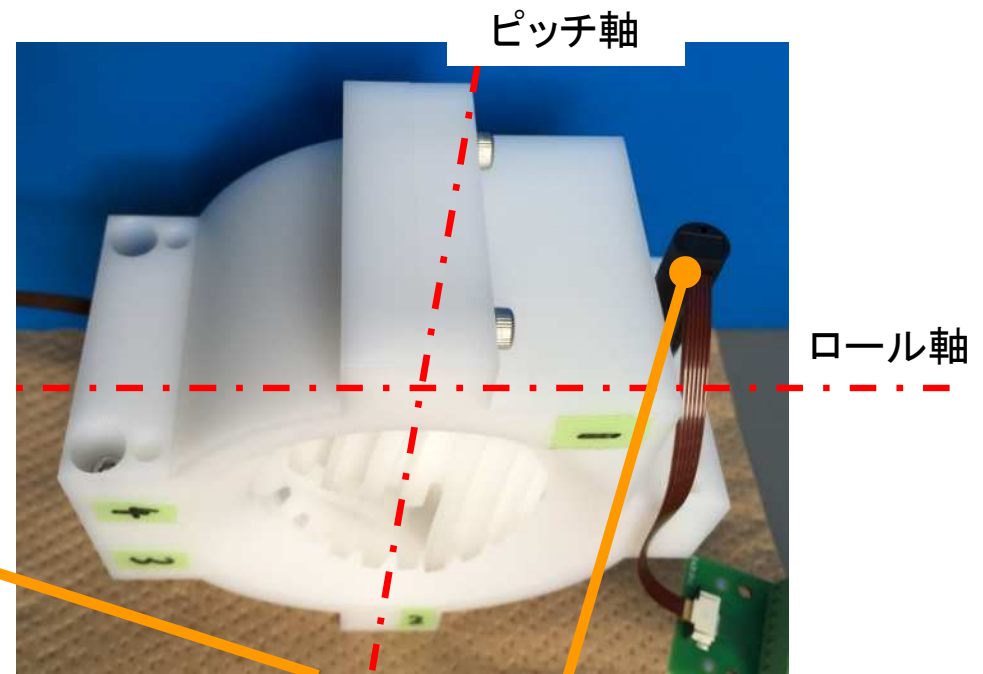
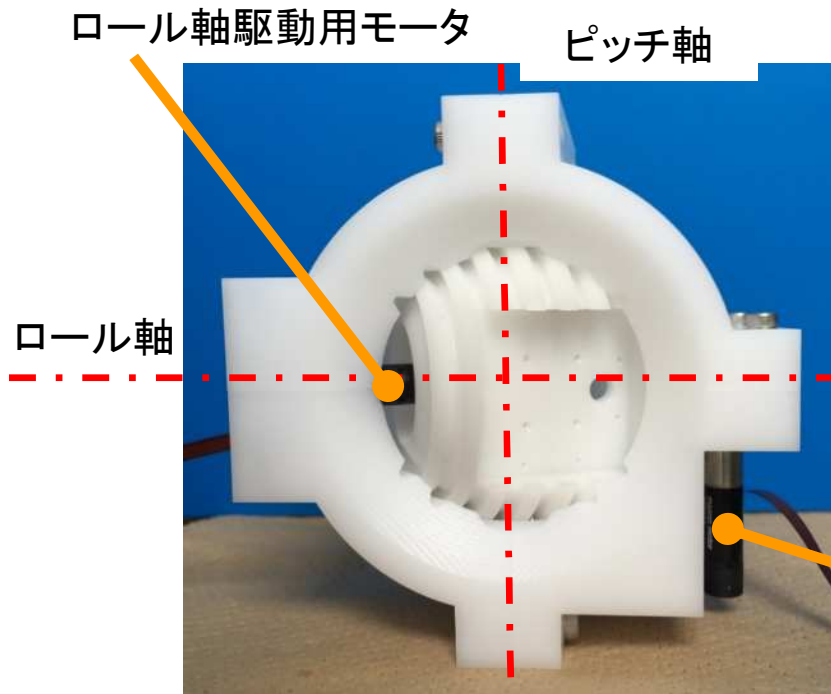


# 球状全方向駆動歯車の内部構造

Bandicam  
www.gomplayer.jp

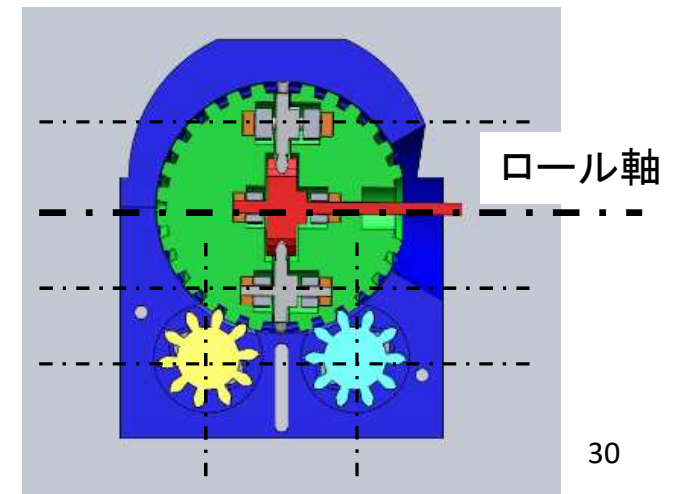
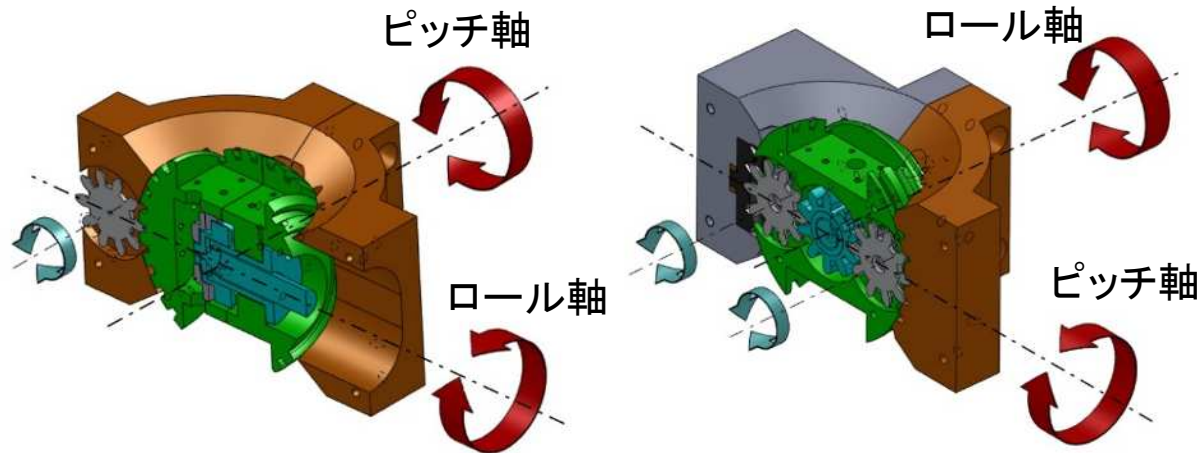


# 歯車構造による球面モータの初期試作機

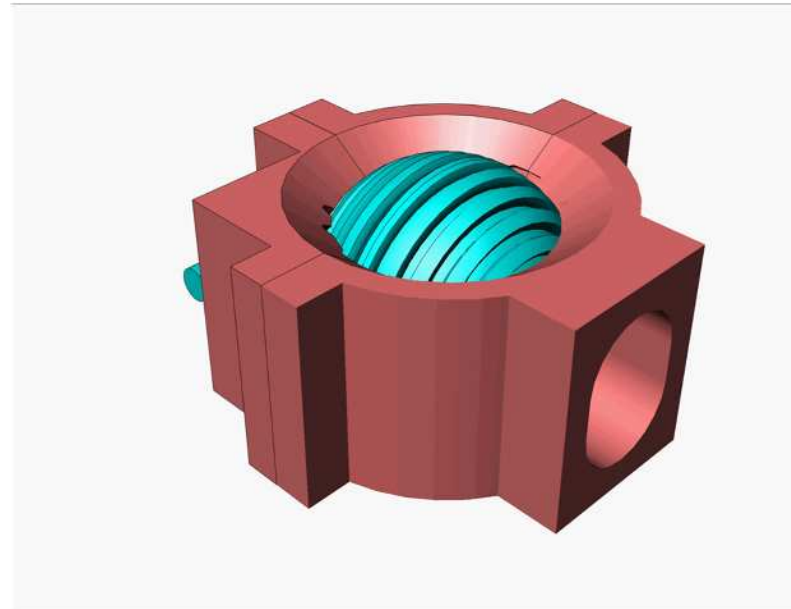
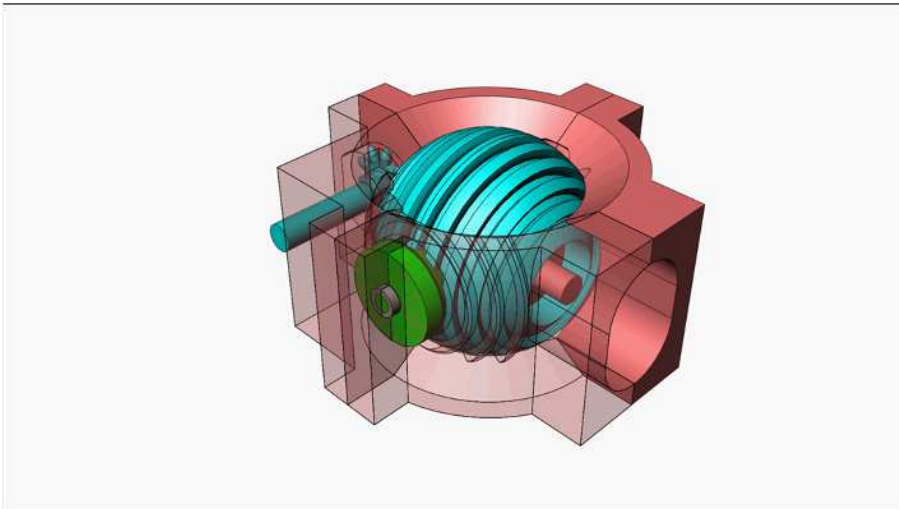
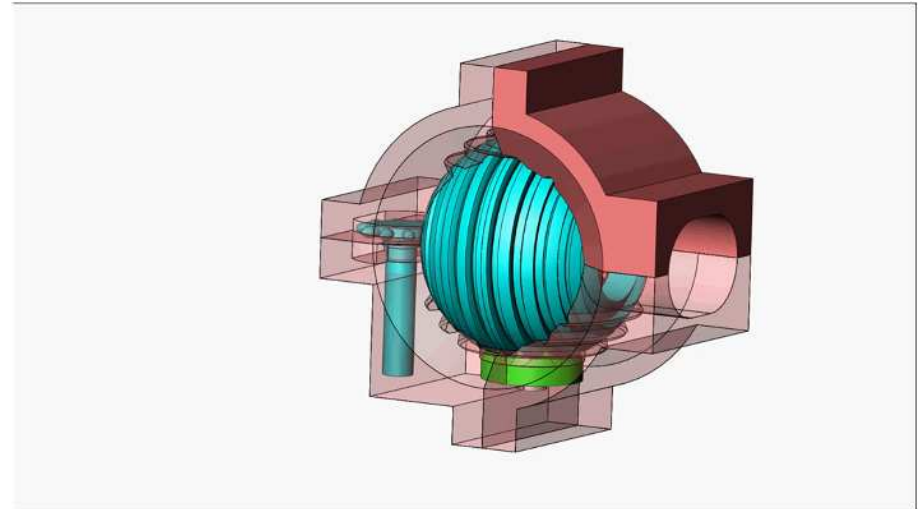
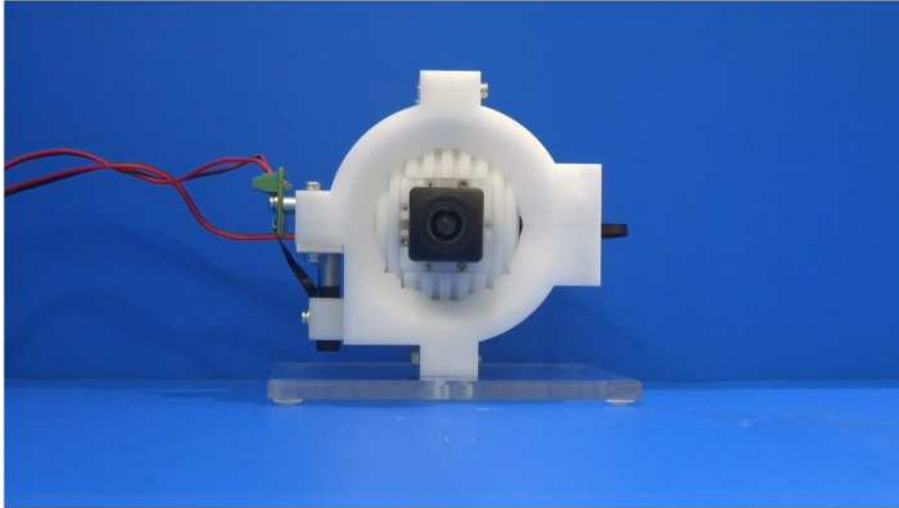


内部の球体歯車の直径 $\Phi 60$  [mm], 出力トルク 1 [Nm]

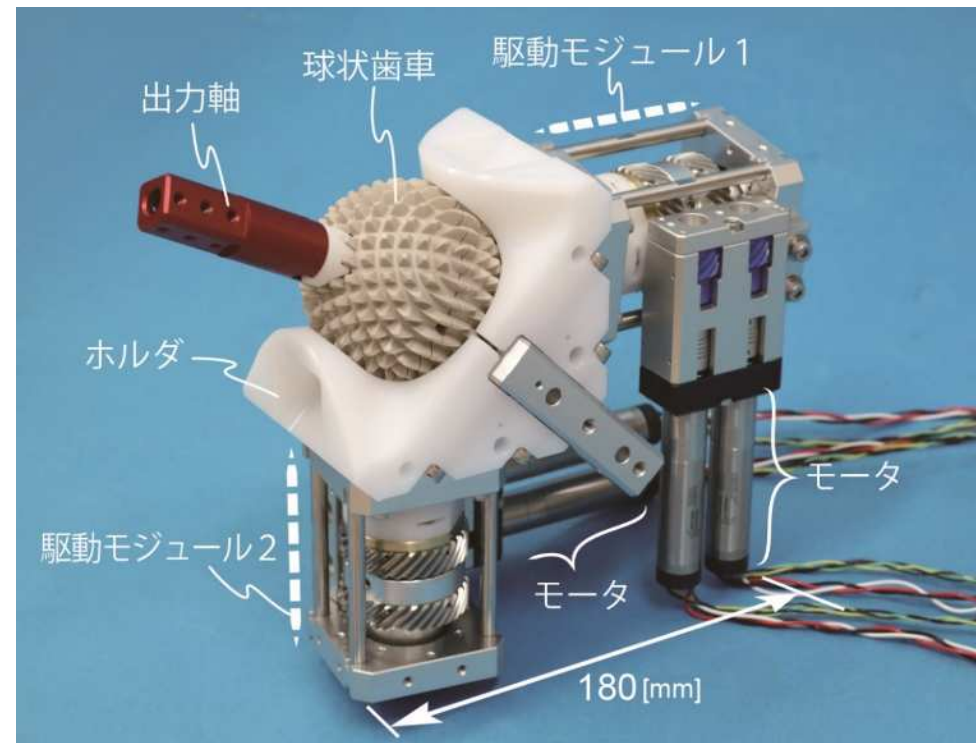
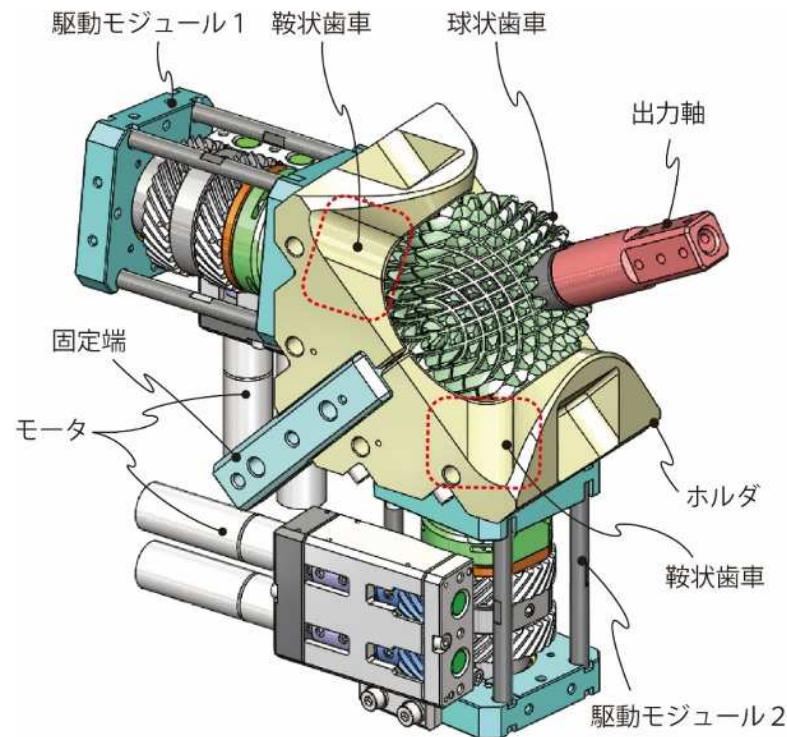
ピッチ軸駆動用モータ



# 球状全方向驅動齒車



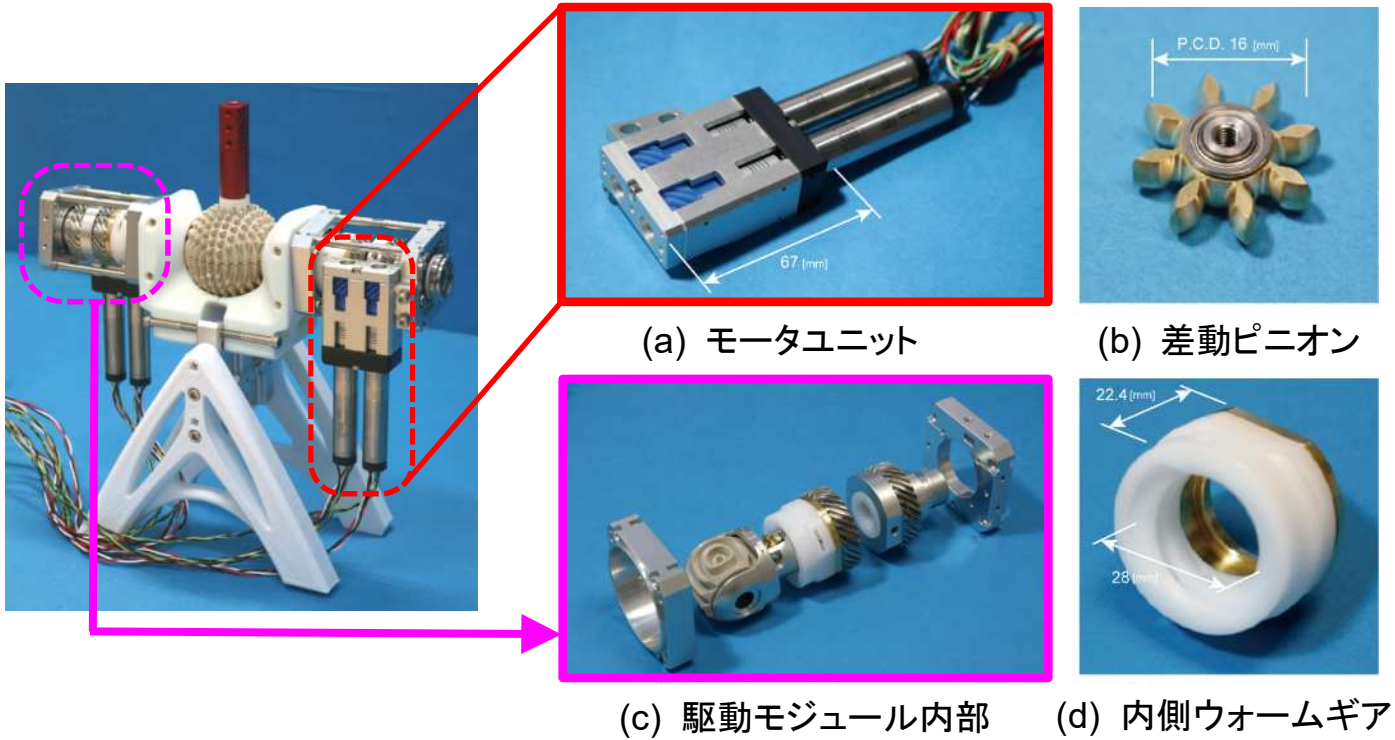
# 全方向駆動球状歯車メカニズム



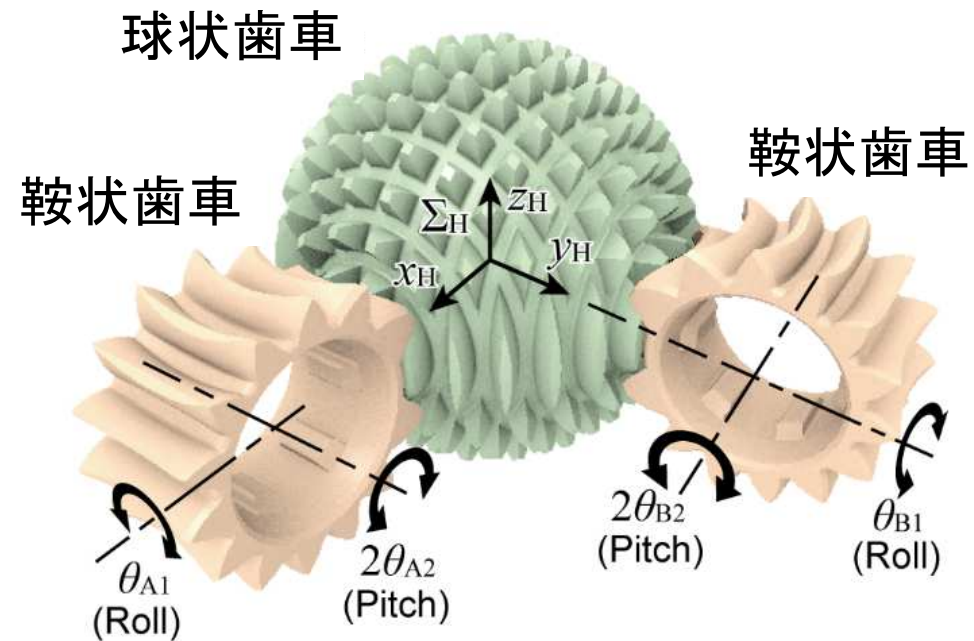
一点で直交する回転3自由度を実現.



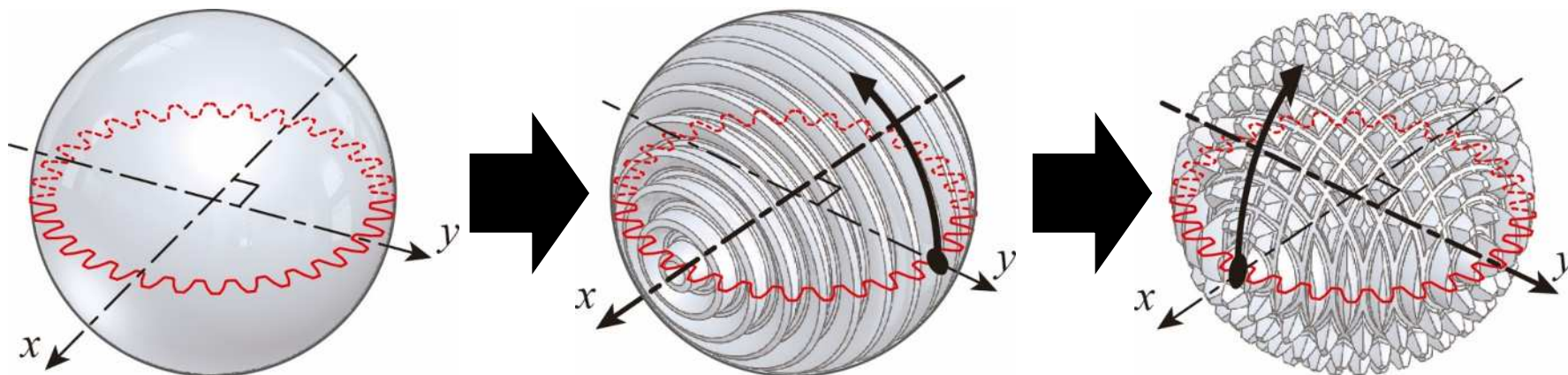
# 差動入力機構の構成部品



# 2個の鞍状歯車と差動入力機構で 球状歯車の3自由度を実現.



# 球状歯車の構造の原理



球状歯車の中の  
 $xy$ 平面上に $z$ 軸周りに  
インボリュート曲線  
を描く.

インボリュート曲線  
を $x$ 軸周りに回転  
させる.

インボリュート曲線  
を $y$ 軸周りに回転  
させ、互いに直交  
する歯車列を球核  
の表面に構成する.

# 開発した歯車型3自由度球面モータ

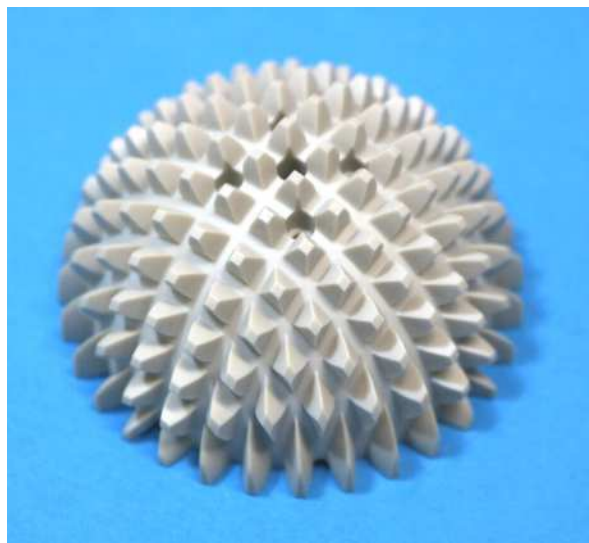
## ABENICS: Active Ball Joint Mechanism with Three-DoF based on Spherical Gear Meshings

■ Kazuki Abe\*, \* Yamagata University, Yamagata, Japan.  
■ Kenjiro Tadakuma\*\*, \*\* Tohoku University, Miyagi, Japan.  
■ and Riichiro Tadakuma\*

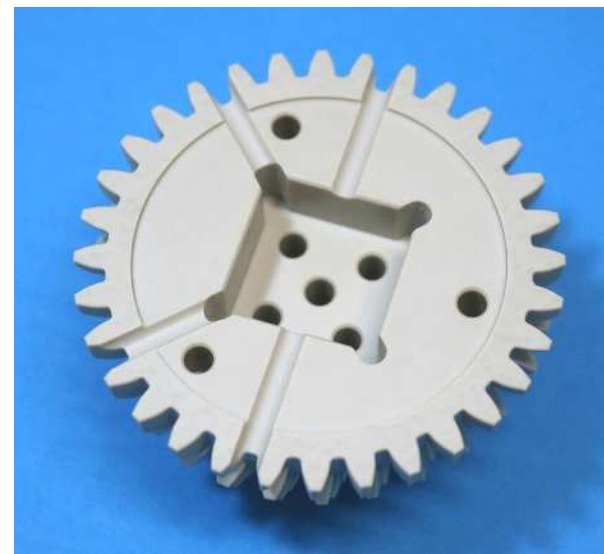
### 【参考文献】

Kazuki Abe, Kenjiro Tadakuma, Riichiro Tadakuma, "ABENICS: Active Ball Joint Mechanism With Three-DoF Based on Spherical Gear Meshings", IEEE Transactions on Robotics 2021.4

# 球状歯車の内部構造



球状歯車の半球構造



球状歯車の半球構造の裏面

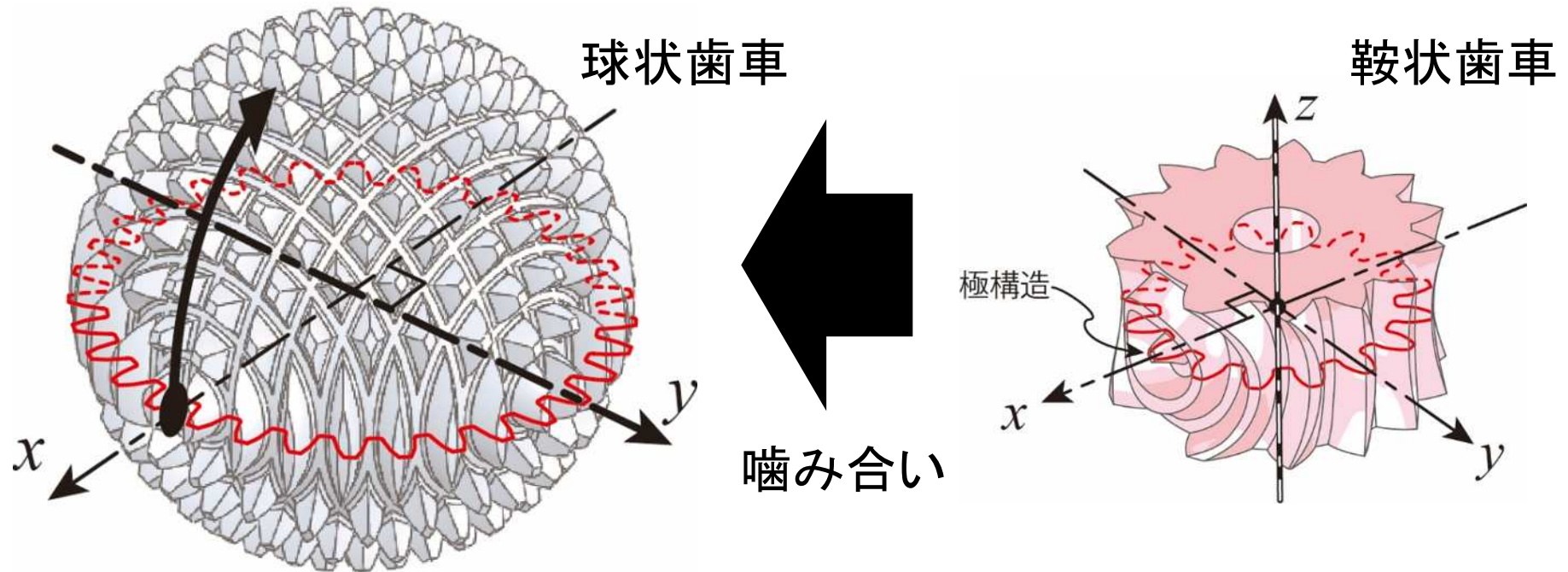
球状歯車は、半球構造を有する部品2個を、お互いにネジ留めすることで構成している。

# 出力軸を取り付けた球状歯車



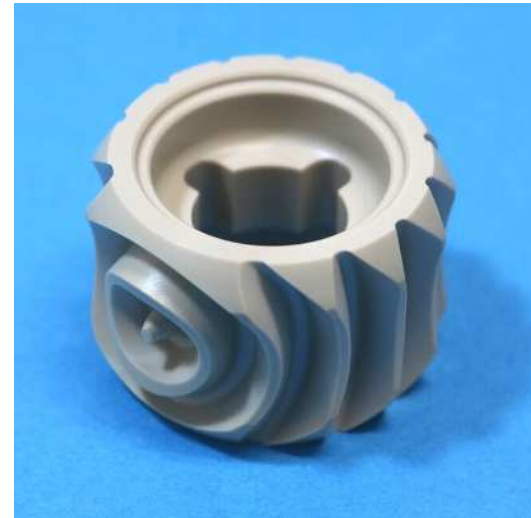
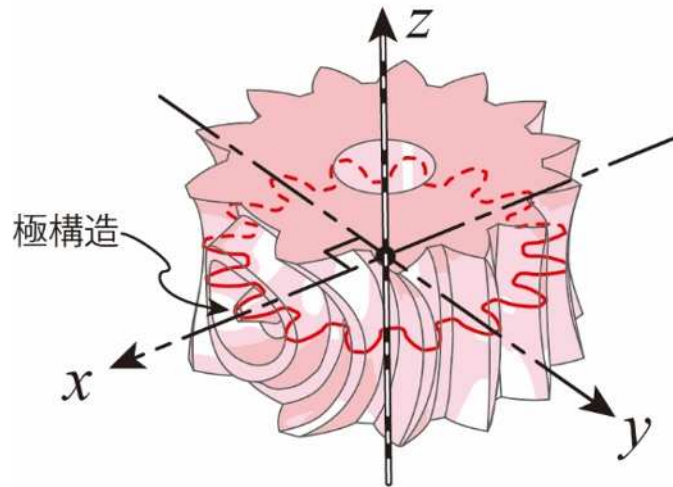
半球構造の部品2個を組み合わせた上で、  
出力軸を取り付けた球状歯車

# 球状歯車と鞍状歯車を噛み合わせる



球状歯車と噛み合う入力用の鞍状歯車は、特殊な極構造を有し、差動機構を介して内部球核に動力を伝達する。

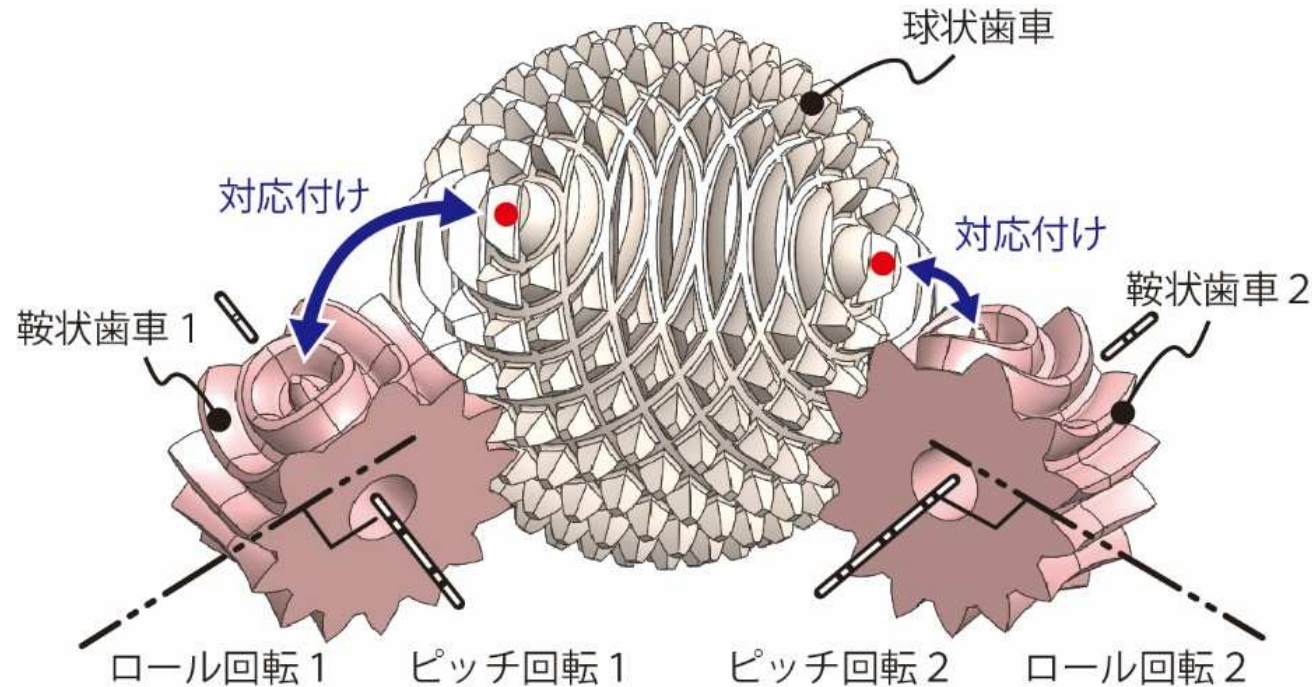
# 鞍状歯車の構造



鞍状歯車は、差動機構を介して球状歯車と噛み合う。  
また、鞍状歯車と球状歯車との噛み合う歯面には、  
対応関係がある。



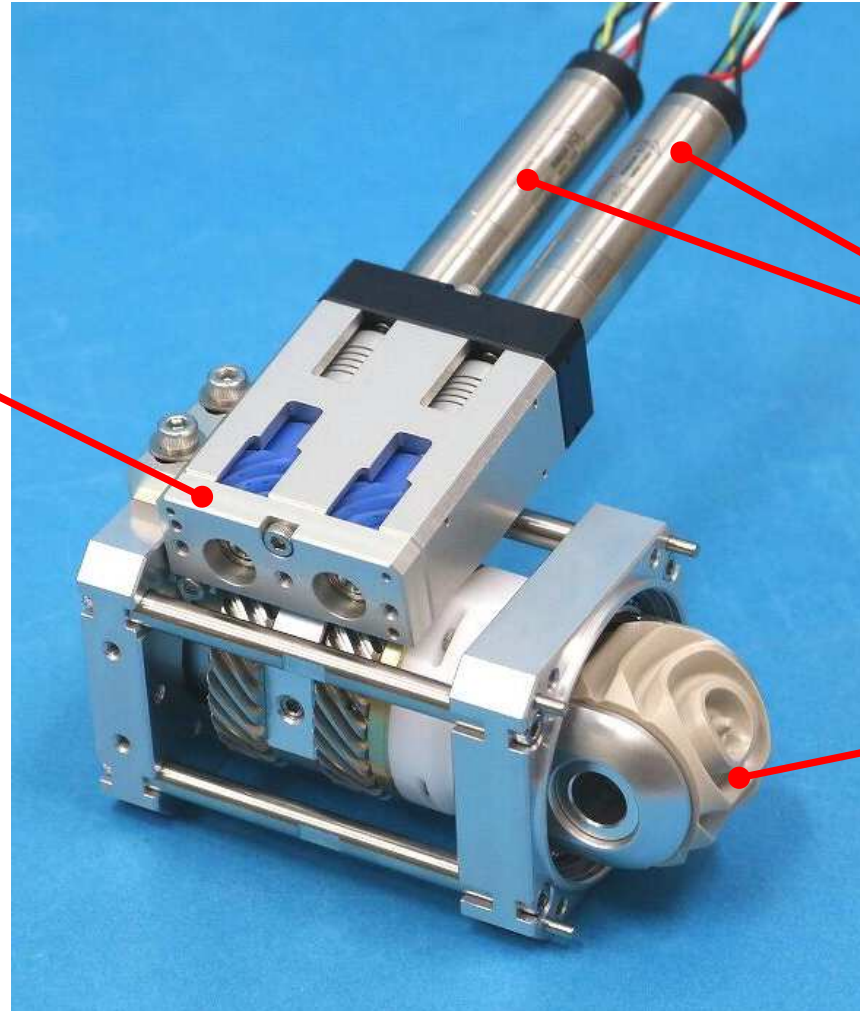
# 球状歯車と鞍状歯車の組合せ



入力用の鞍状歯車は、差動機構を介して球状歯車に直交する2軸周りの動力を伝達する。このため、球状歯車は3自由度を有する。動力を伝えない方向には、鞍状歯車は球状歯車の歯と歯の間を滑らかにスライドする。

# 鞍状歯車を有する駆動モジュール

差動機構



モータ

鞍状歯車

# 駆動モジュールと球状歯車の組合せ



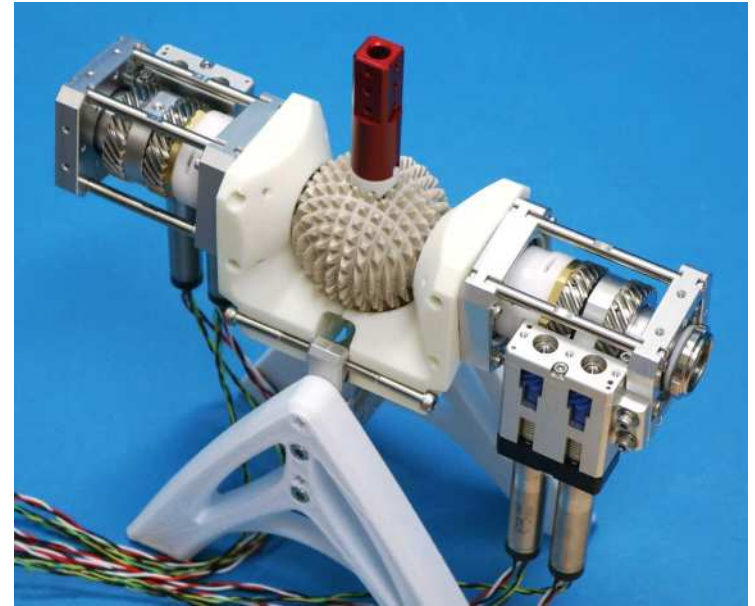
(×2)

駆動モジュール

+



球状歯車



無制限の可動範囲を  
有する3自由度球面モータ

# ご清聴ありがとうございました。

榎田 諭 先生はじめ、本オープンフォーラムを運営して下さった方々に心より御礼申し上げます。

