

第1回

「機械要素」

ガイダンス

島根大学 機械設計研究室

李 樹庭

Email: shutingnpu@yahoo.co.jp

教科書

1. 設計から強度計算まで学ぶ 歯車の実用設計 (科学情報出版 2025)
ISBN:9784910558394 生協で購入下さい。

必ず購入してください。

理由:(1)機械要素;(2)機械製図;
(3)機械設計演習で使用される予定

2. 配布資料

- 成績評価:
1. レポート課題の提出
 2. 期末試験



機械要素工学とは

なんのための学問でしょうか？

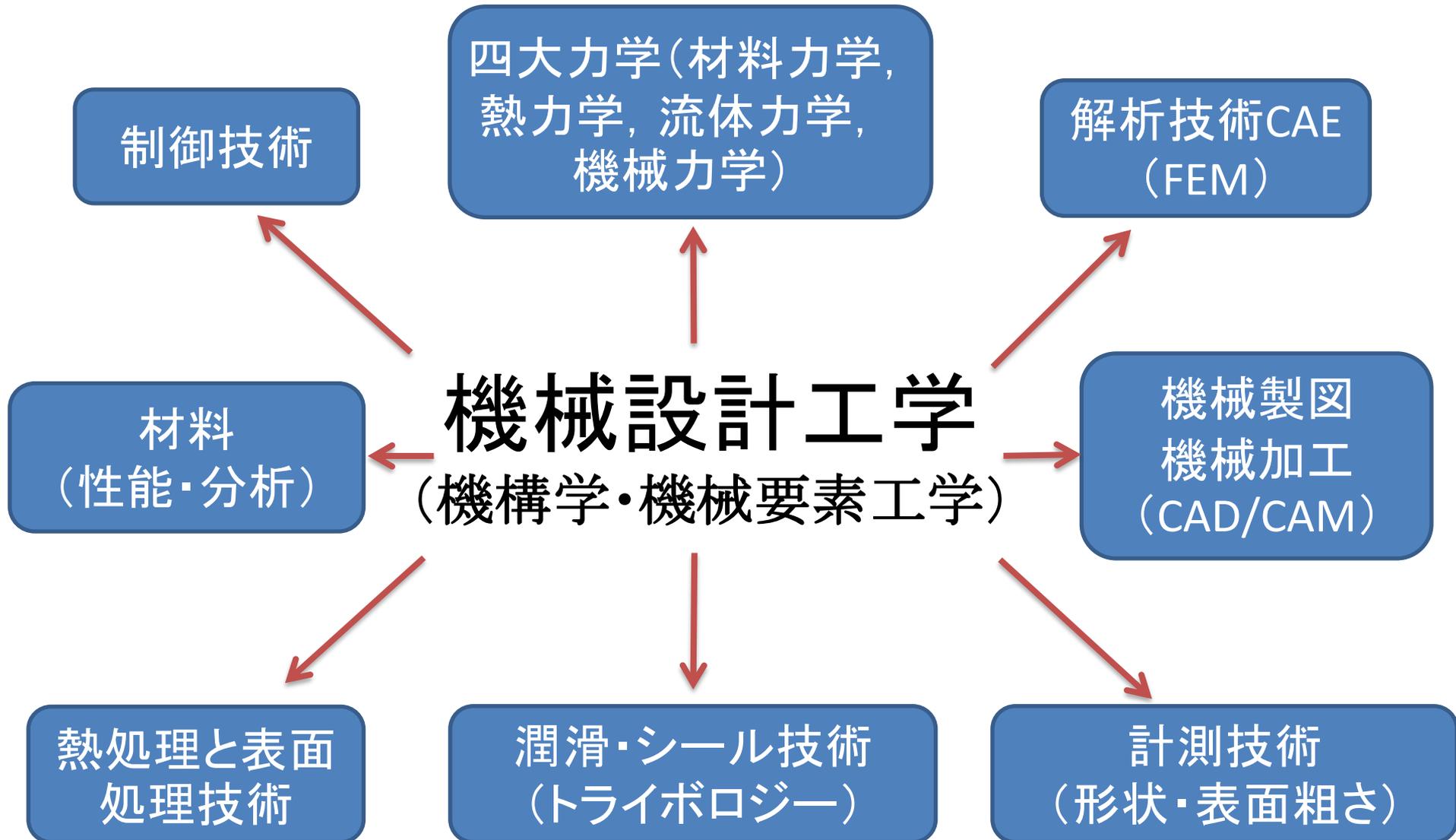
人間はなぜ、機械を設計するか？

機械要素工学とは

- 様々な機械は様々な機械要素から構成されているので、機械を設計するために、機械要素設計に関する知識が必要
- 機械に一定の機能を持たせる必要があるが、機械要素を通してこの機能を持たせている
例えば、人を運ぶ(車); 空を飛ぶ(飛行機);
電力を作る(発電機); 機械加工(工作機)
- 機械に一定の性能を持たせる必要があるが、機械の性能は機械要素にとり決まる
例えば、機械の強度(寿命)、振動、騒音、
効率と運動精度などに関する研究
- 機械要素工学＝様々な機械を設計するために必要な基礎(基盤)

機械を設計するために必要な知識

機械設計・製造に必要な知識



機械設計と機械要素設計の関係

- 機械は**機械部品、ボルト、ナット、歯車、軸受、オイルシール**などの機械要素から構成されているので、機械要素は機械を構成する重要な部分である。
- **機械要素の機能・性能設計法に対する理解は機械設計者にとって極めて重要なことである。**機械要素の設計知識は持たないと、よい機械が設計できないといっても過言ではない。
- 機械要素技術は製造業を支える基盤技術であり、機械の機能と性能の決め手でもある。
- 機械要素技術は機械製造メーカーに重要視されているコア技術の一つである。

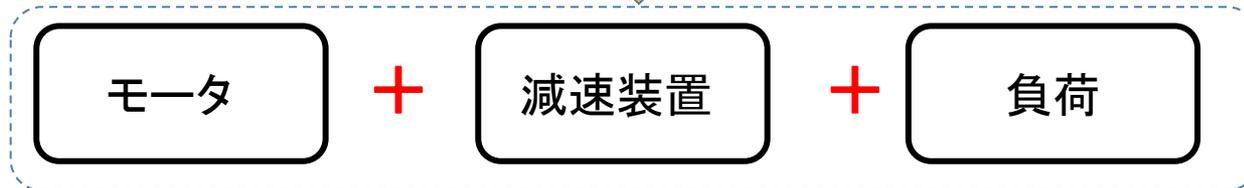
機械の構成コンセプト

従来の機械



機械の電動化

新しい機械



機械要素を
大量に使用

機械要素

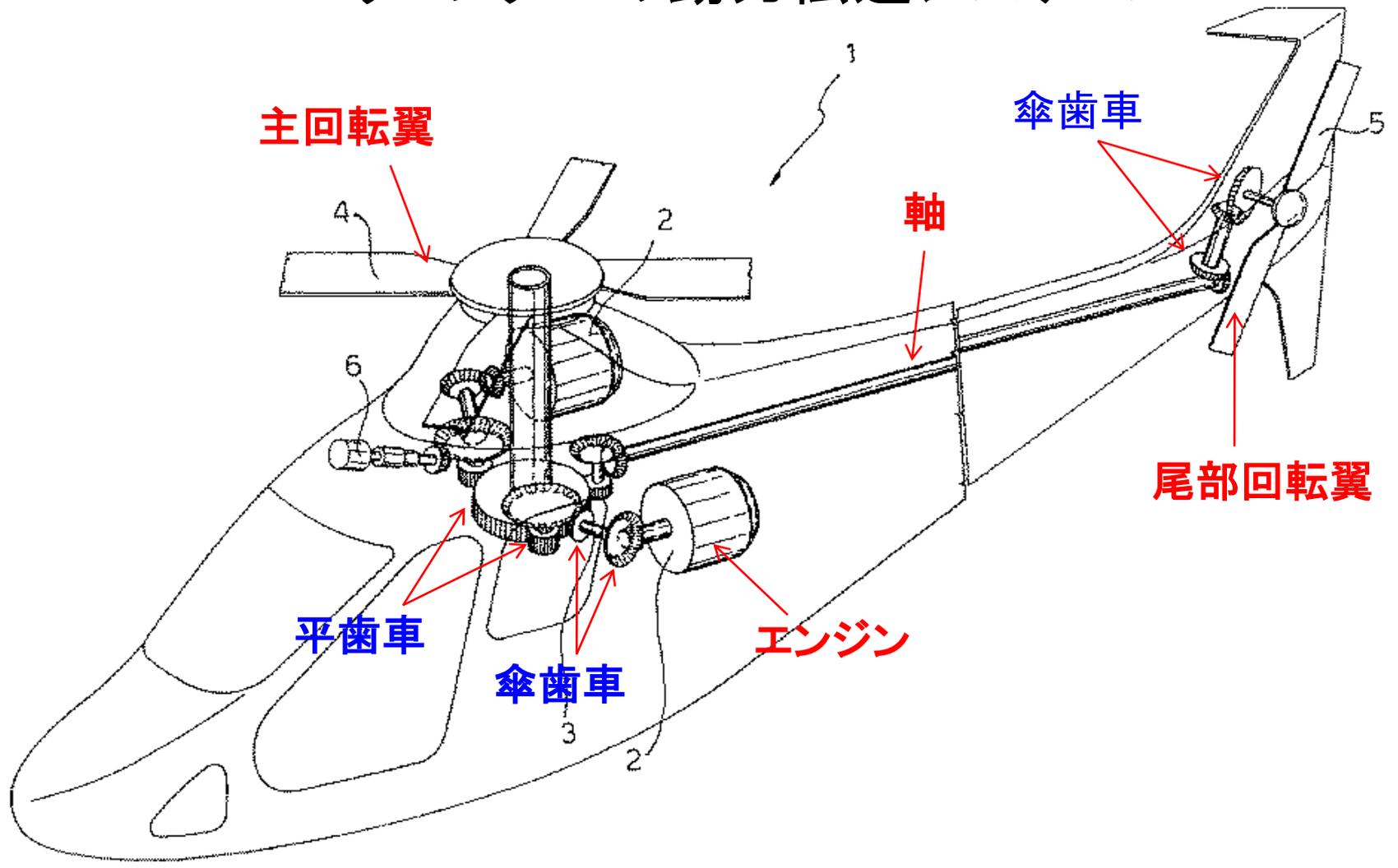
締結要素: ねじ、ピン、継手、軸、軸受、止め輪

密封要素: Oリング、オイルシール

伝達装置: 様々な歯車装置、ベルト、チェーン、摩擦伝動装置

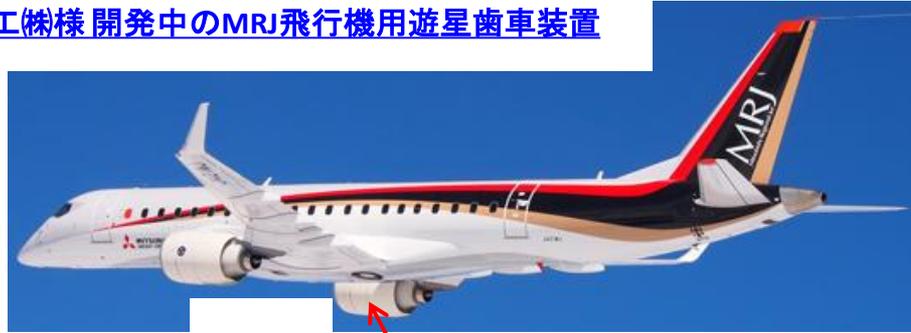
制動要素: クラッチ及びブレーキ

ヘリコプターの動力伝達システム



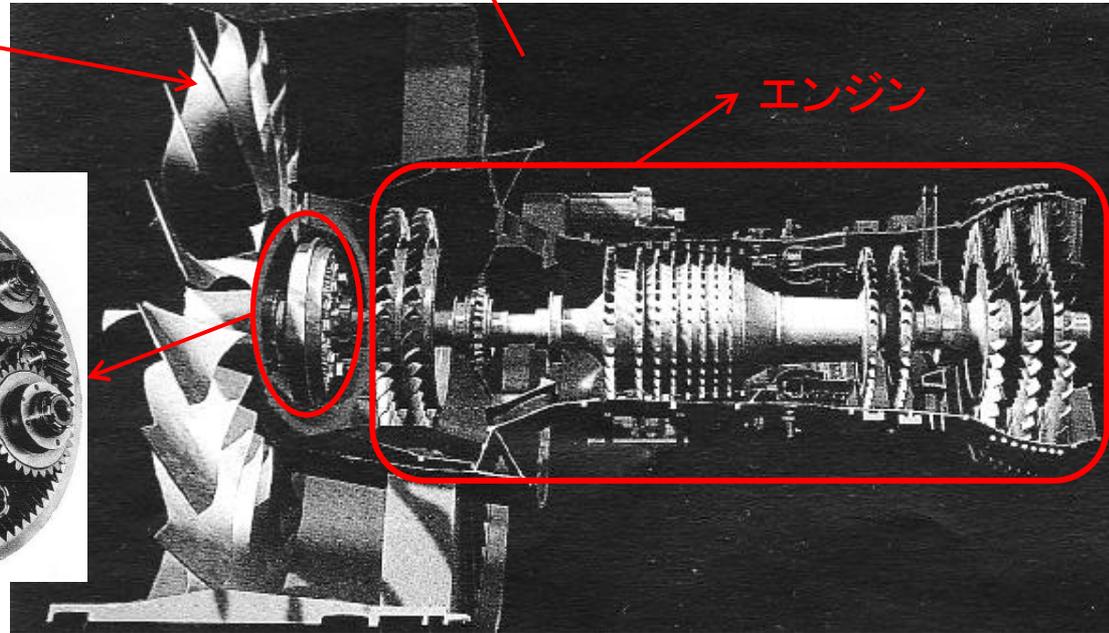
航空機の動力伝達システム

三菱重工(株)様 開発中のMRJ飛行機用遊星歯車装置



負荷(ファン)

エンジン



減速装置

出典: NIKKEI MONOZUKURI May 2008 P36-39

エンジン

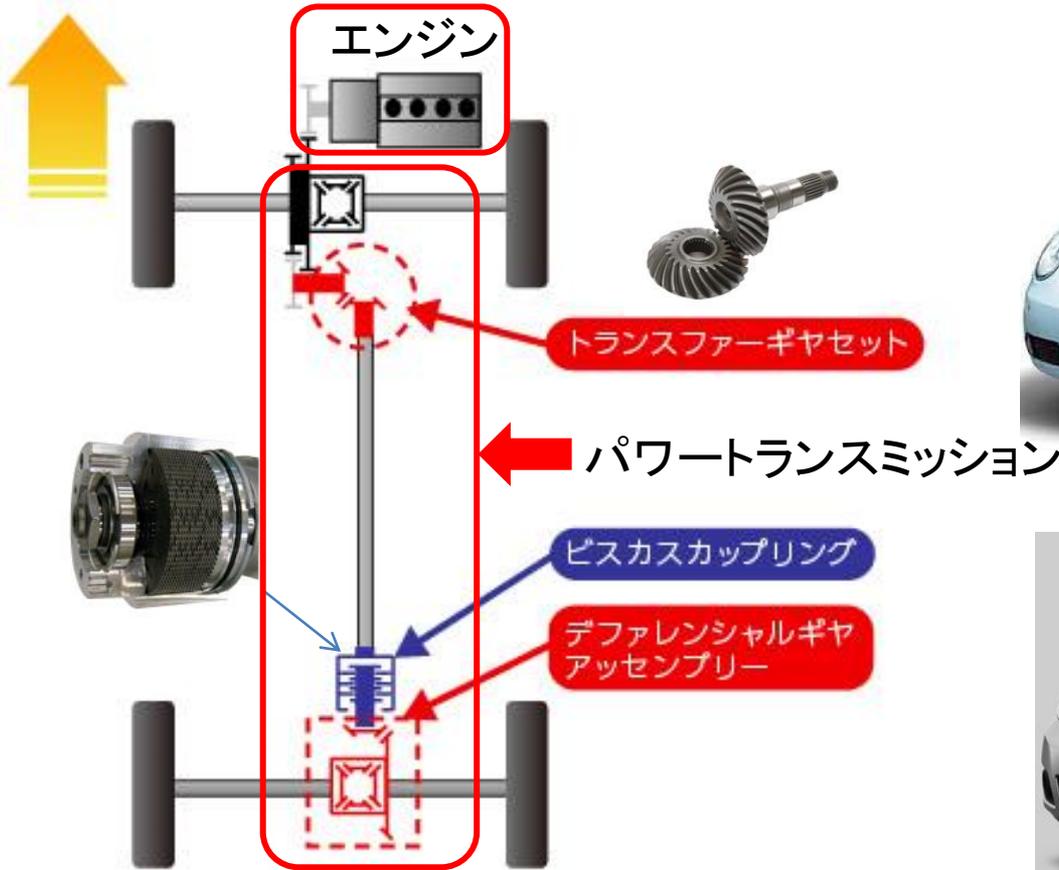
+

減速装置

+

負荷(ファン)

車の動力伝達システム



4WD簡易レイアウト



エンジン

+

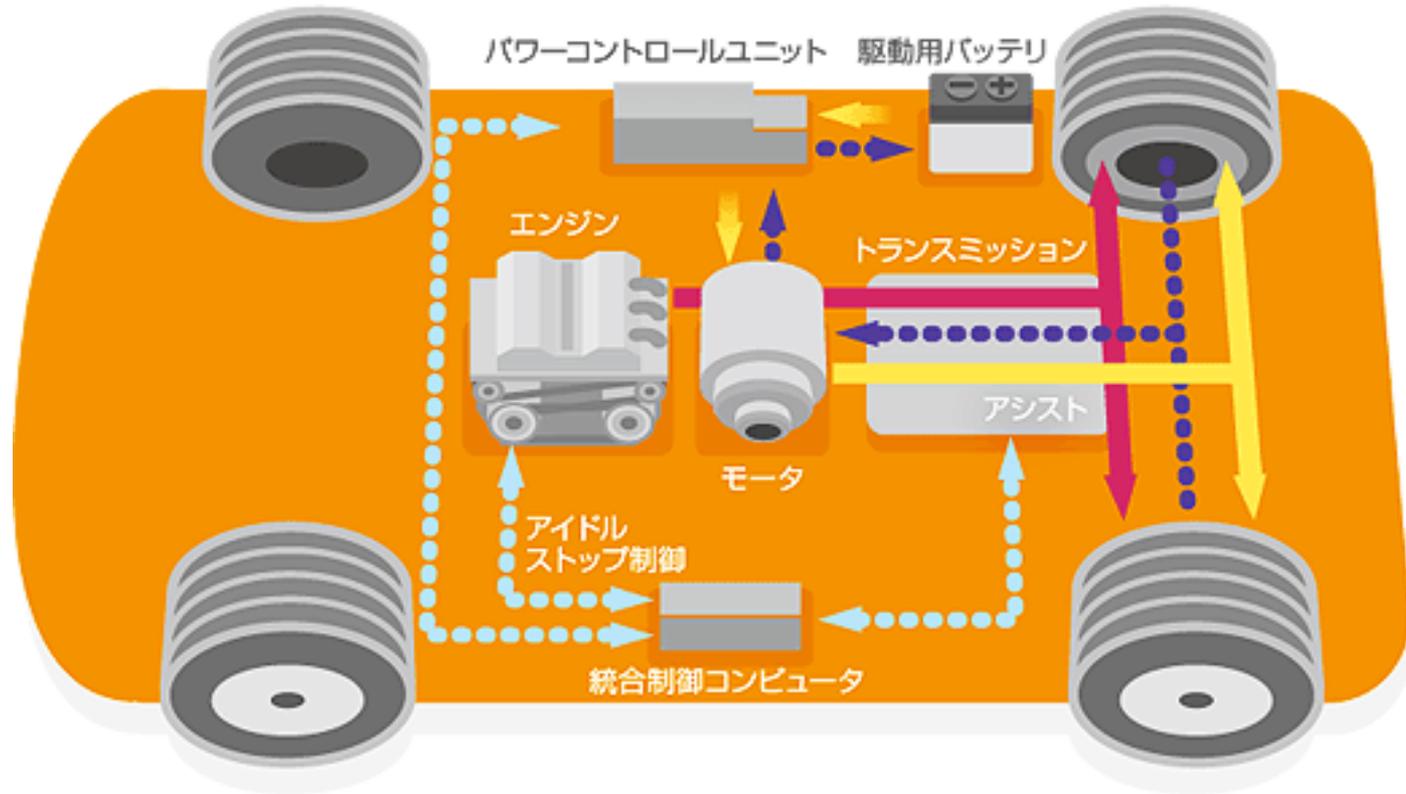
減速装置

+

負荷(車輪)

ハイブリッド車の動力伝達システム

モータアシスト型ハイブリッド車の構造

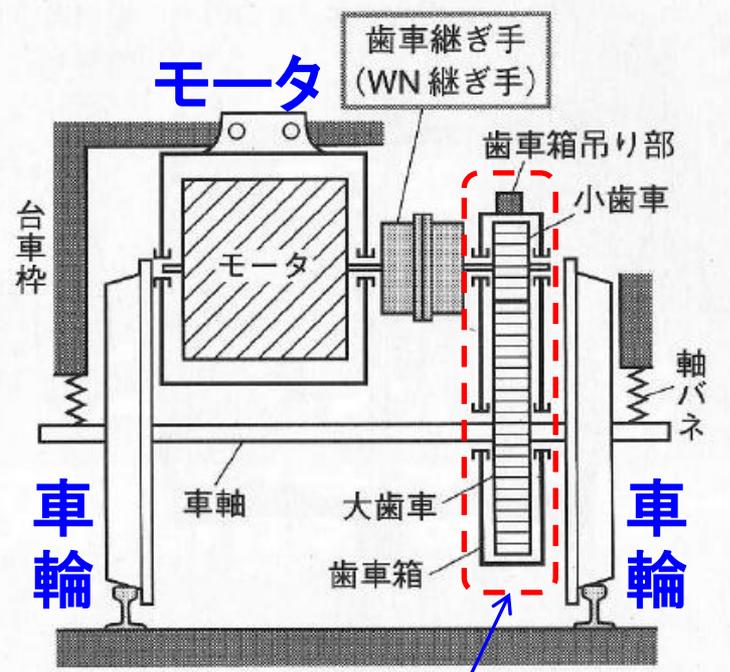


- エンジンパワー
- 駆動用バッテリーの電力でモータを回し走行をアシスト
- 発生する制動や降坂のエネルギーを電気エネルギーに変換・充電
- 制御信号

新幹線の動力伝達システム



新幹線車両の台車



歯車減速機

出典: 図解・鉄道の科学 宮本昌幸著 講談社

モータ

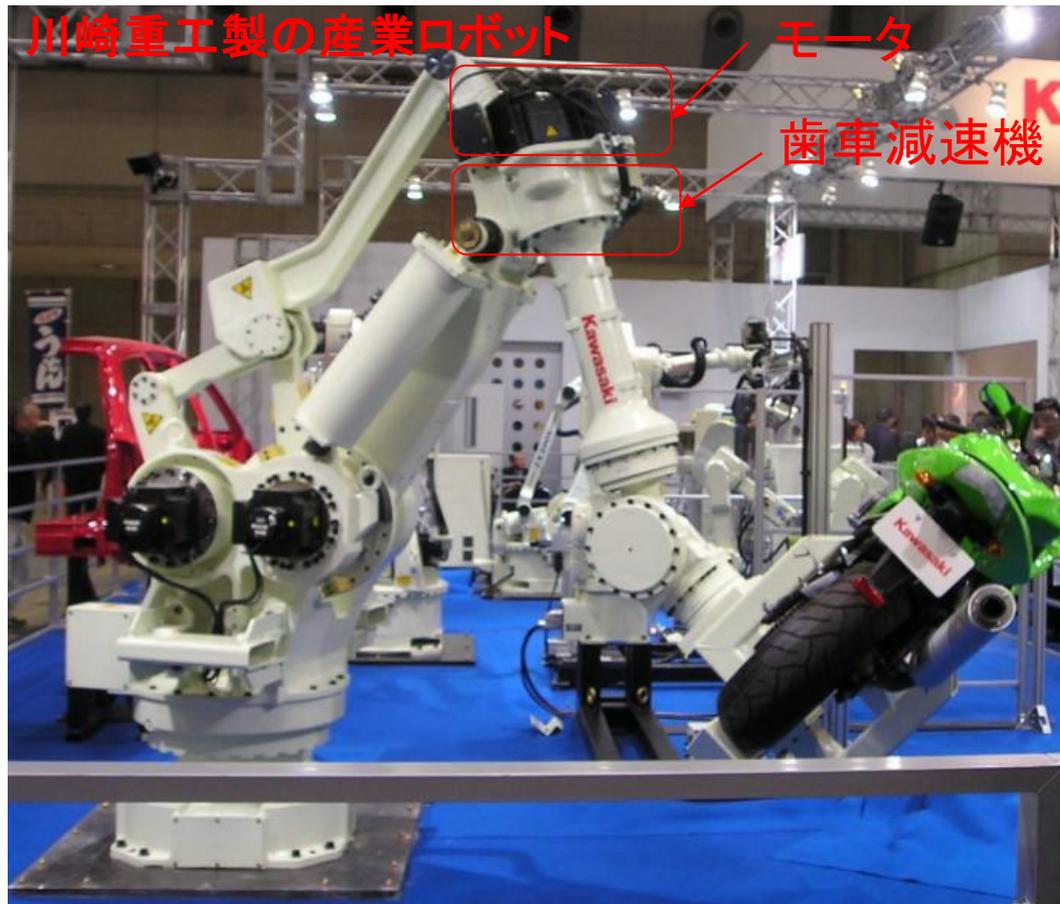
+

減速装置

+

負荷(車輪)

産業ロボットの動力伝達システム



モータ

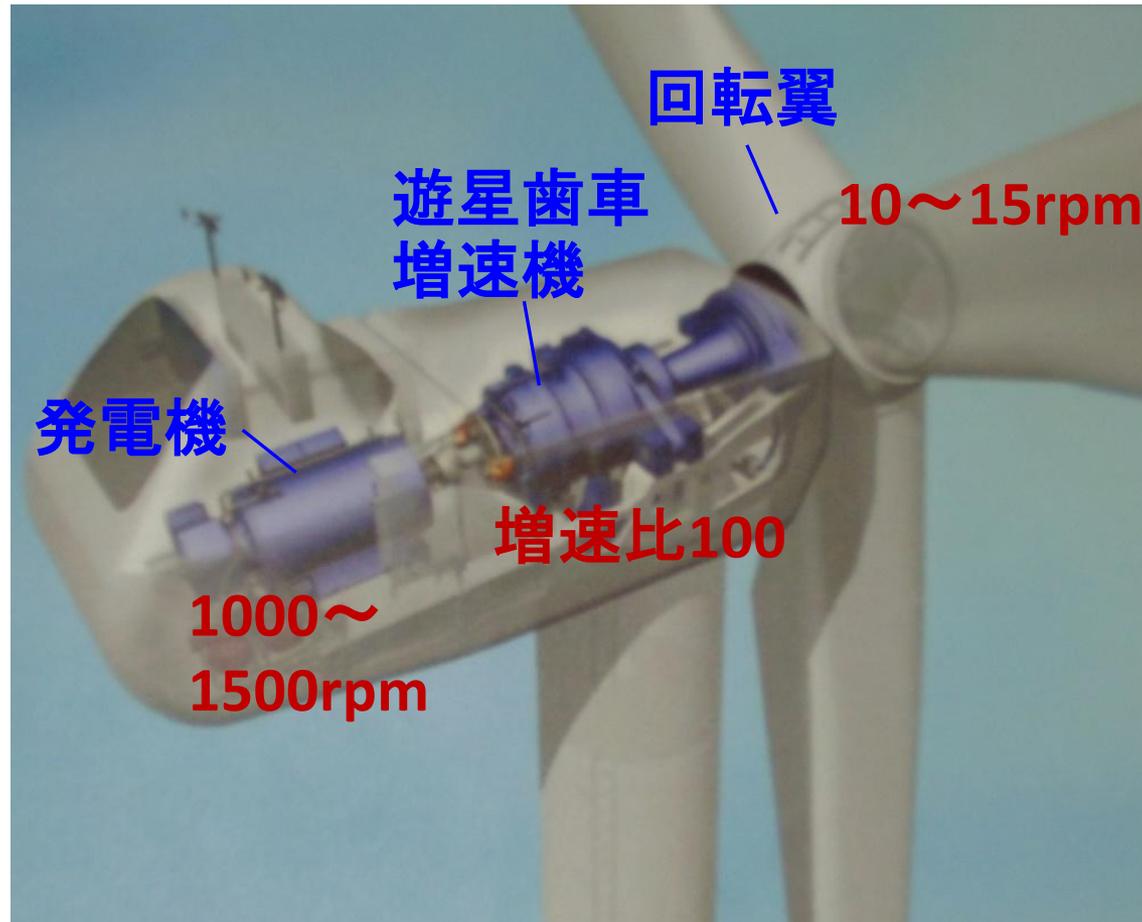
+

減速装置

+

負荷(ロボットアーム)

風力発電装置の動力伝達システム



出典: 機械伝動(中国語)、2011年10月 第35巻

モータ

+

減速装置

+

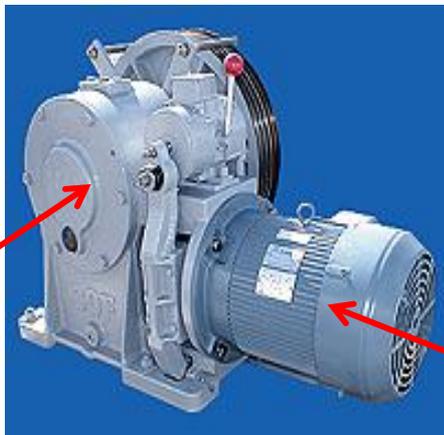
負荷(ブレード)

エレベータの動力伝達システム

エレベータの巻き上げ装置

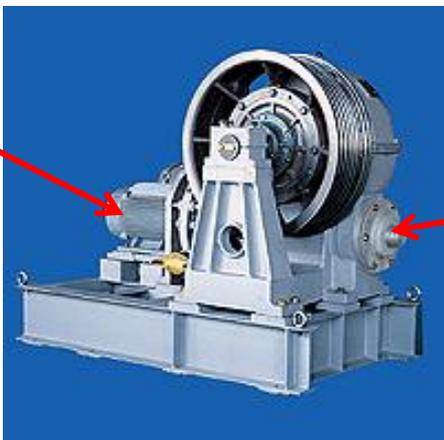
出典: 東芝エレベータ(株)HP

減速機

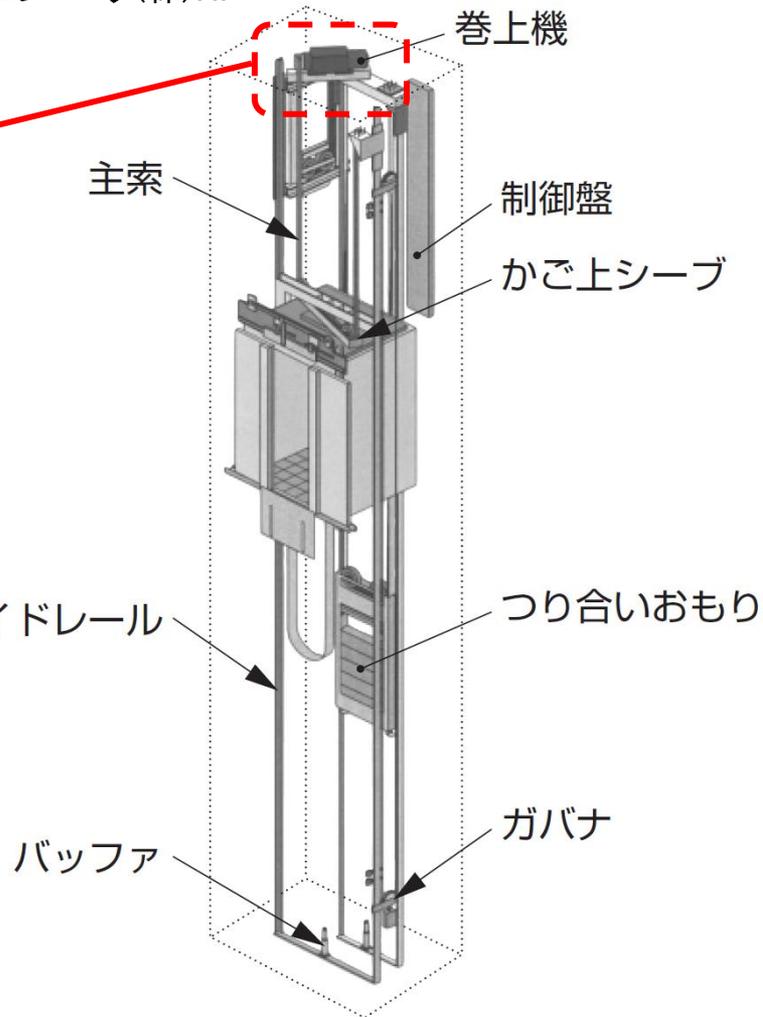


モータ

モータ



減速機



巻上機

主索

制御盤

かご上シーブ

ガイドレール

つり合いおもり

バッファ

ガバナ

モータ

+

減速装置

+

負荷(かご)

機械を設計するために必要な知識

- モーター知識(設計、製造、制御)
- エンジン知識(設計、製造、制御)
- 機械要素知識(特に歯車を用いた減速装置)

今後の授業予定:

- ① 機械設計の方法論と手順
- ② 強度設計の基礎
- ③ 生産設計との関連性
- ④ 締結要素(ねじ、ピン、継手)
- ⑤ 軸の設計
- ⑥ 軸受に関する知識
- ⑦ 伝達装置(様々な歯車装置)
- ⑧ クラッチ及びブレーキ

機械要素の運動原理、幾何設計、強度計算法、特徴、使い方などに関する学習

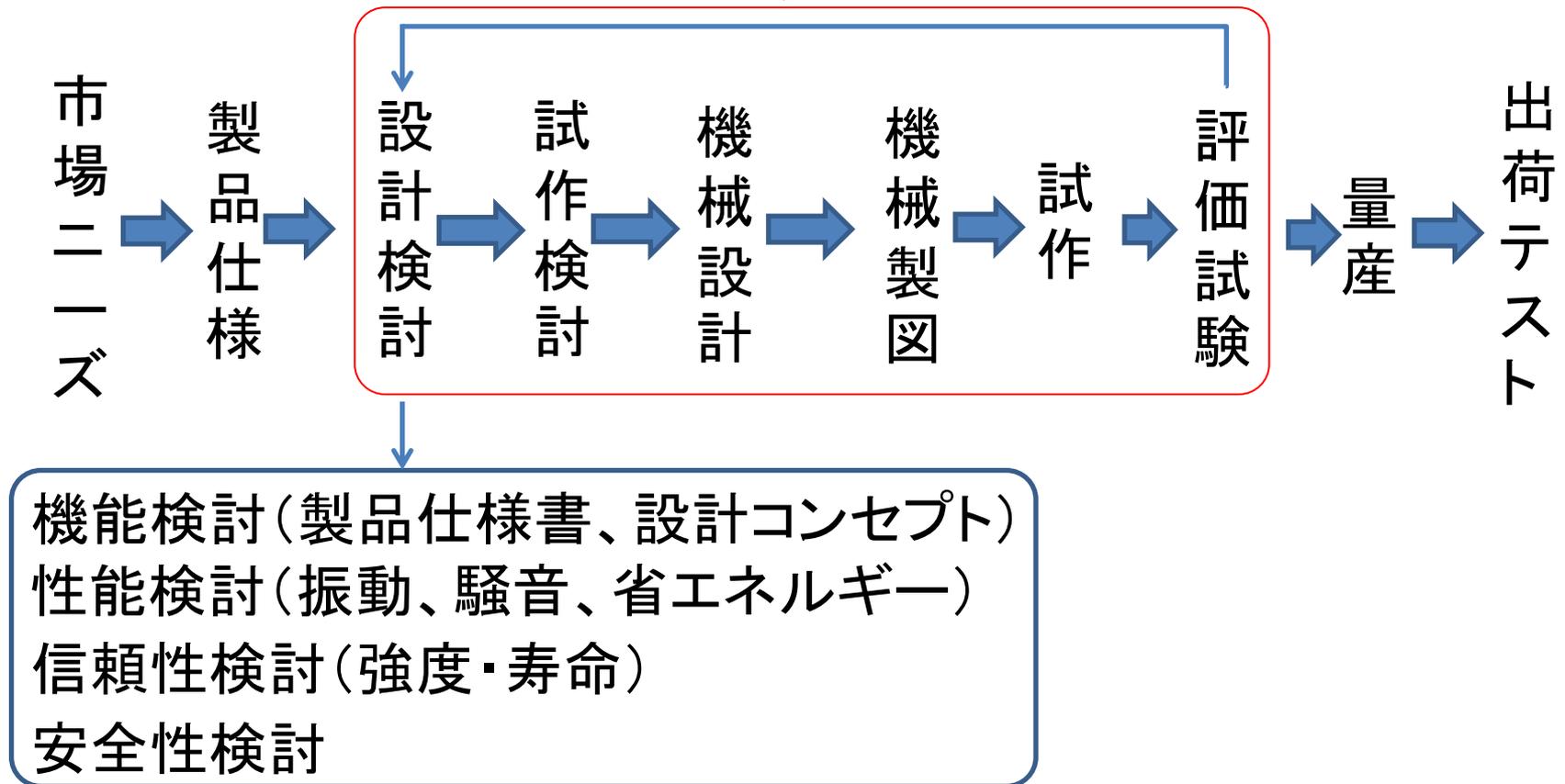
機械設計者になるために必要な即戦力を身につける。

現代機械設計・製造 のコンセプト構成

モノづくりの流れと手順

設計仕様書から製品までの流れ：

繰り返し(製品開発)



機械CAD/CAE/CAM

CAD: Computer aided design

CAE: Computer aided engineering
(FEM: Finite element method)
(FEA: Finite element analysis)

CAM: Computer aided manufacturing

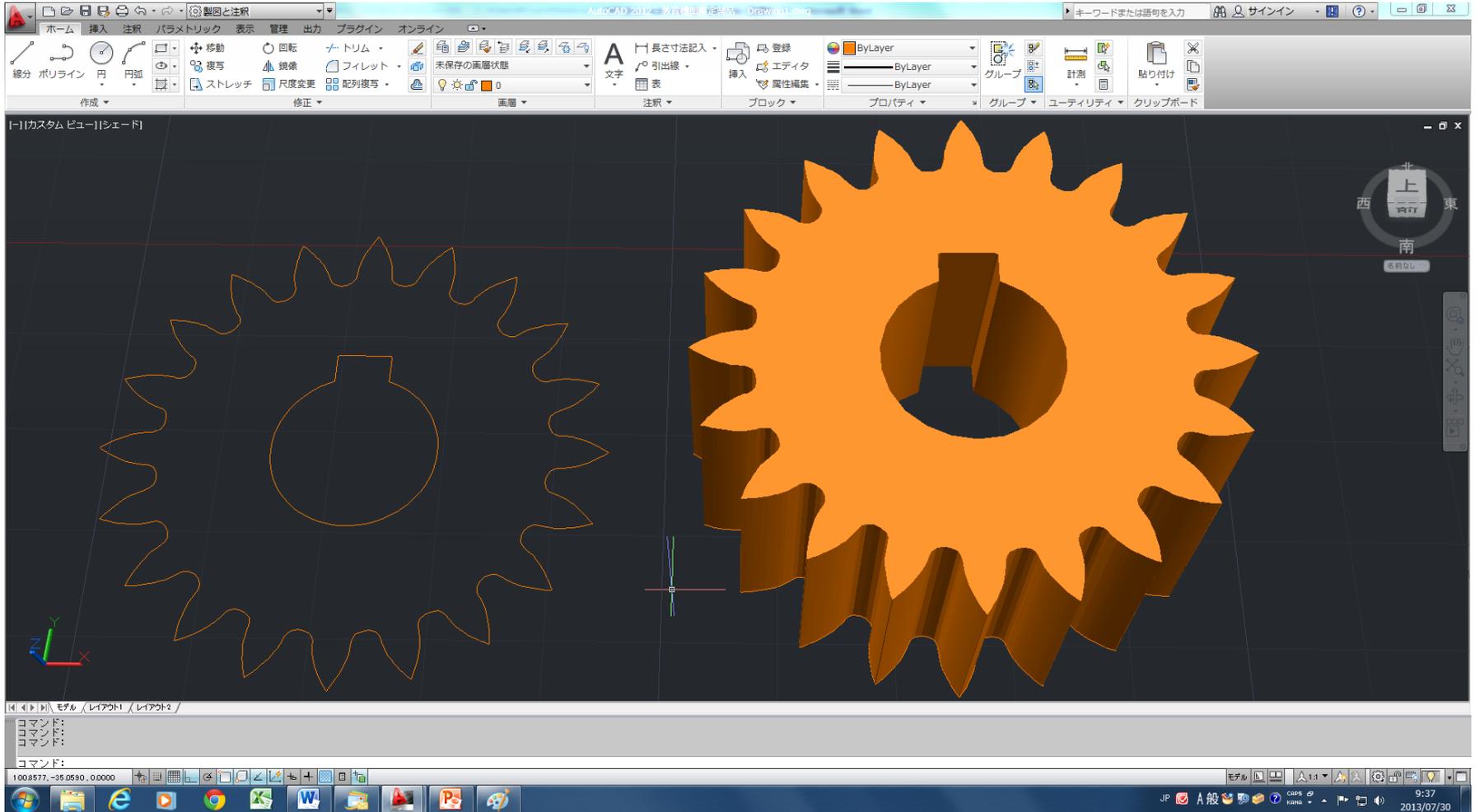
CADとは

- 計算機ソフトを用いて、機械設計をパソコンで行い、機械の構造・組立図・部品図を完成させる。
- 汎用CADソフトの種類：

Auto CAD(2D & 3D)	二次元・三次元製図機能
CAITA(3D)など	三次元製図機能
Solid Works(3D→2D)	三次元製図とCAE解析機能

機械部品のCAD実例

Auto CADソフト

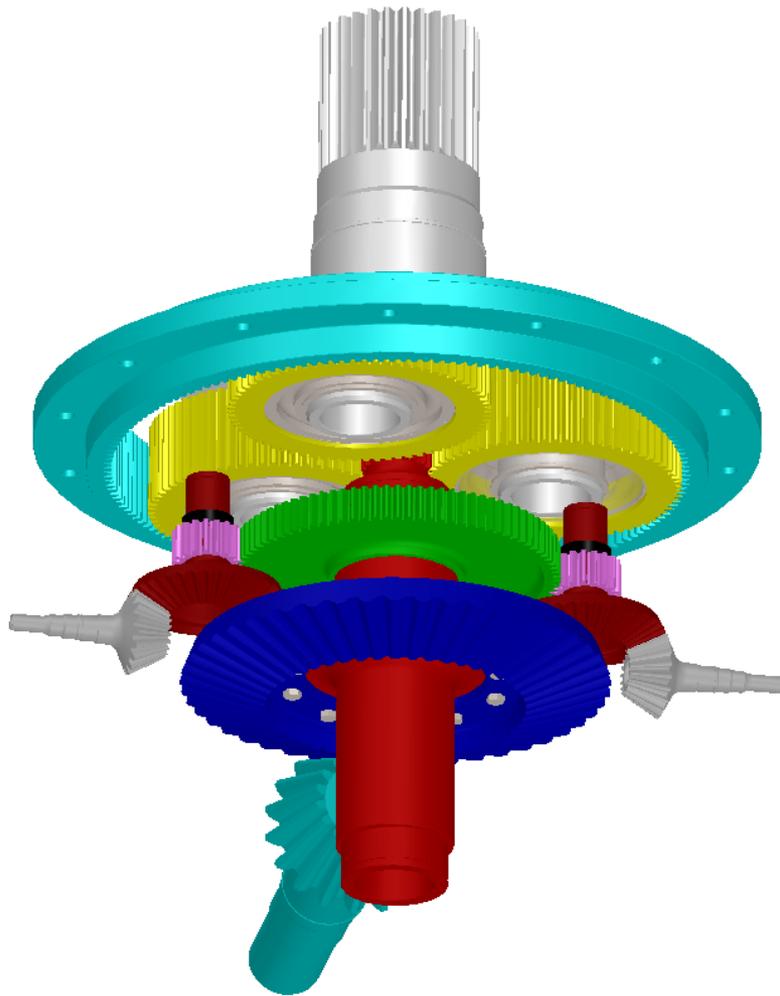


転位・高歯歯車の2Dと3D－CADソフト(島根大学機械設計研究室開発)

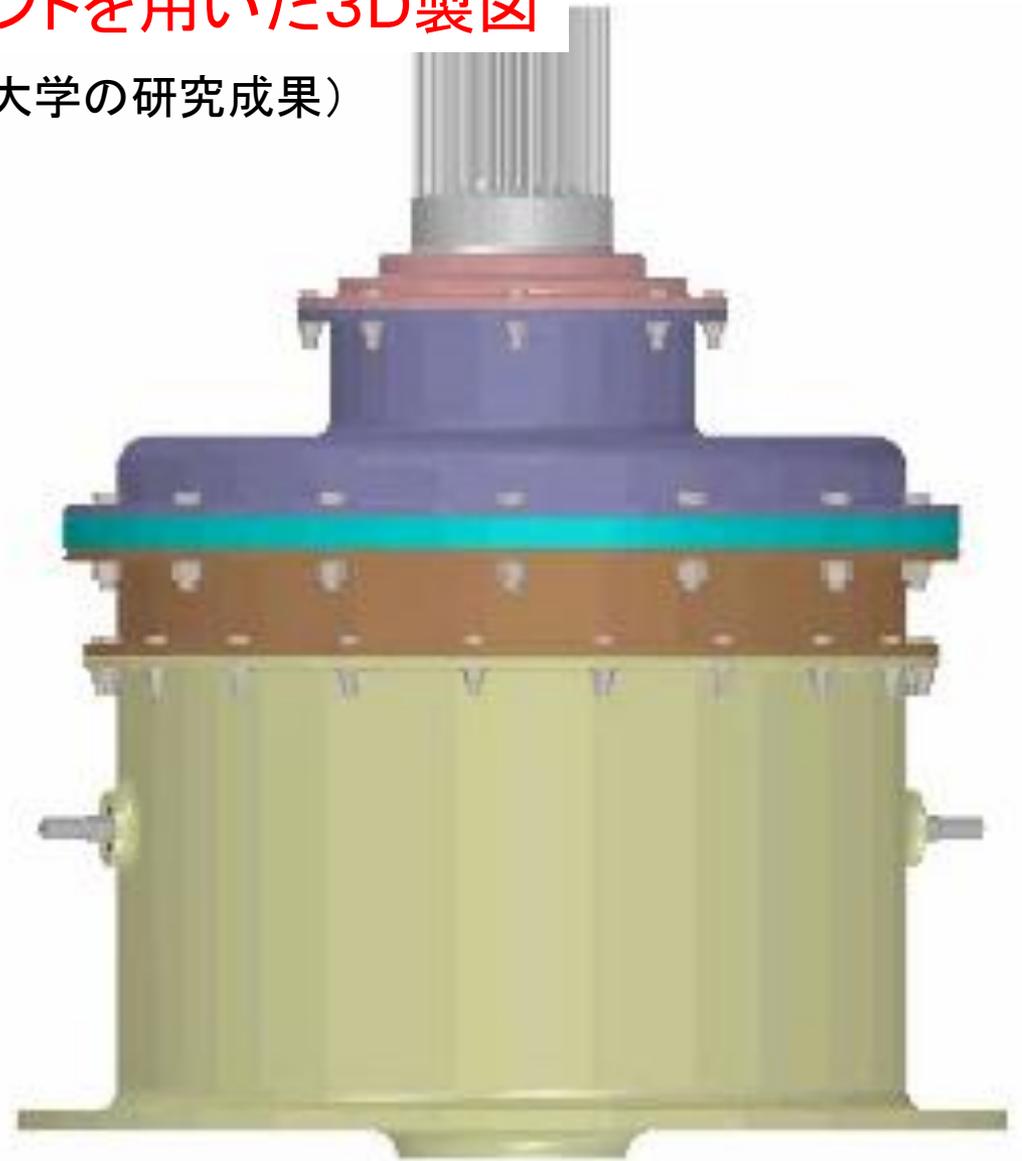
機械装置のCAD実例

Solid Worksソフトを用いた3D製図

(島根大学の研究成果)



ヘリコプターのメインランスミッションの内部



ヘリコプターのMain Gear Boxの動作アニメーション

CAEとは

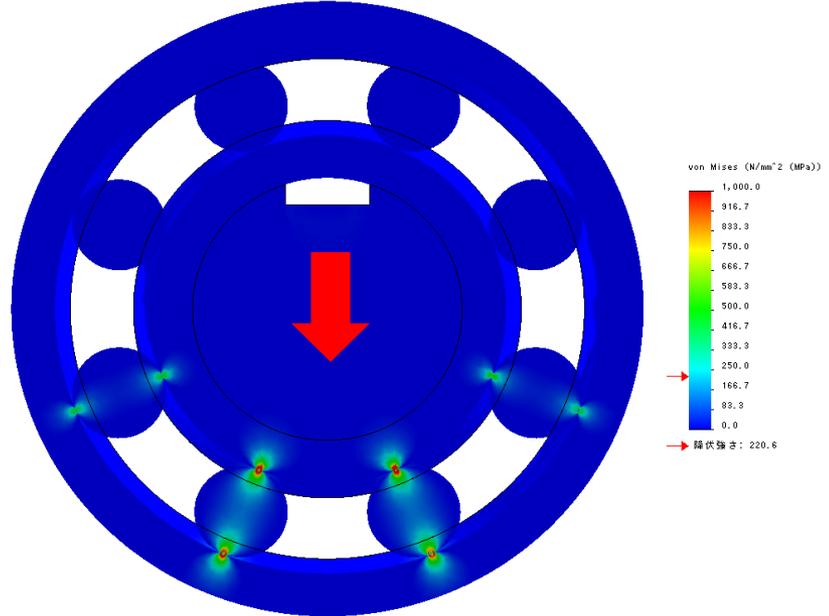
- CAEは現代機械設計の中で最も重要な解析過程である。汎用ソフトを用いて、機械の強度・性能・機能などを解析し、設計した機械装置の信頼性や妥当性を理論上で検討する数値シミュレーションのことである。
- 汎用CAEソフトの種類：
ANSYS; Abaqus; SolidWorks; その他
- 汎用CAEソフトがあれば、すべての設計問題が解決できるでしょうか？ 回答:No
理由:機械装置の仕組みの難しさによる、シミュレーションできない現象が多く存在している。
- CAEソフトで解析された結果を実験的に検証する必要がある。

CAE解析実例

1. 汎用CAEソフトによる軸受接触解析の問題点

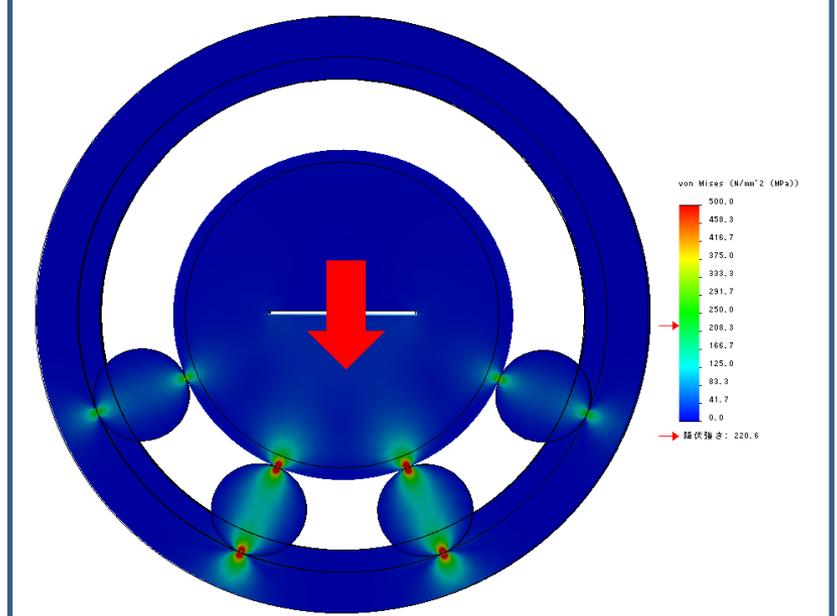
島根大学の解析結果:

玉軸受の接触解析結果



使用ソフト: SolidWorks Simulation

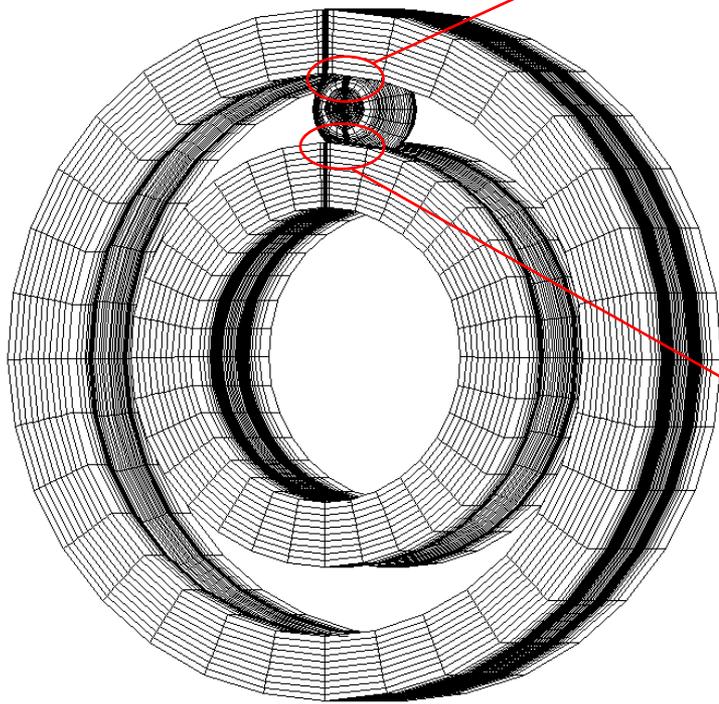
ころ軸受の接触解析結果



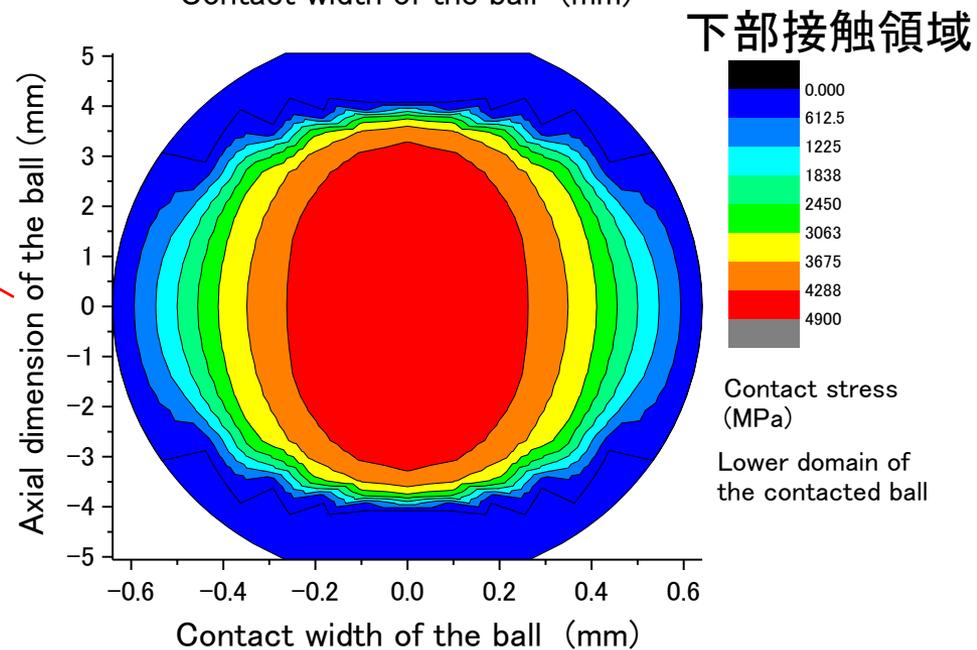
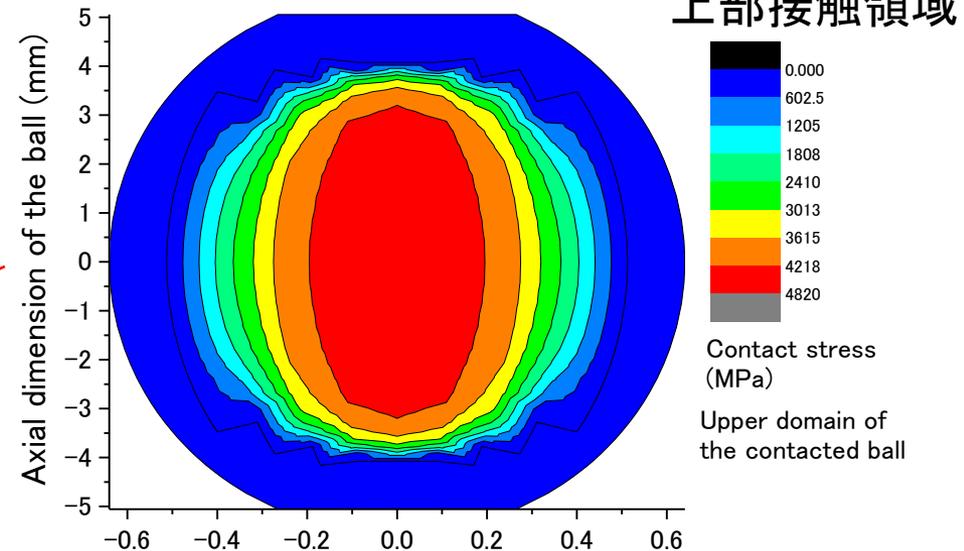
2. 専用FEMソフト開発による解析結果

(1) 深溝玉軸受のボール表面の接触面圧分布

玉軸受の場合



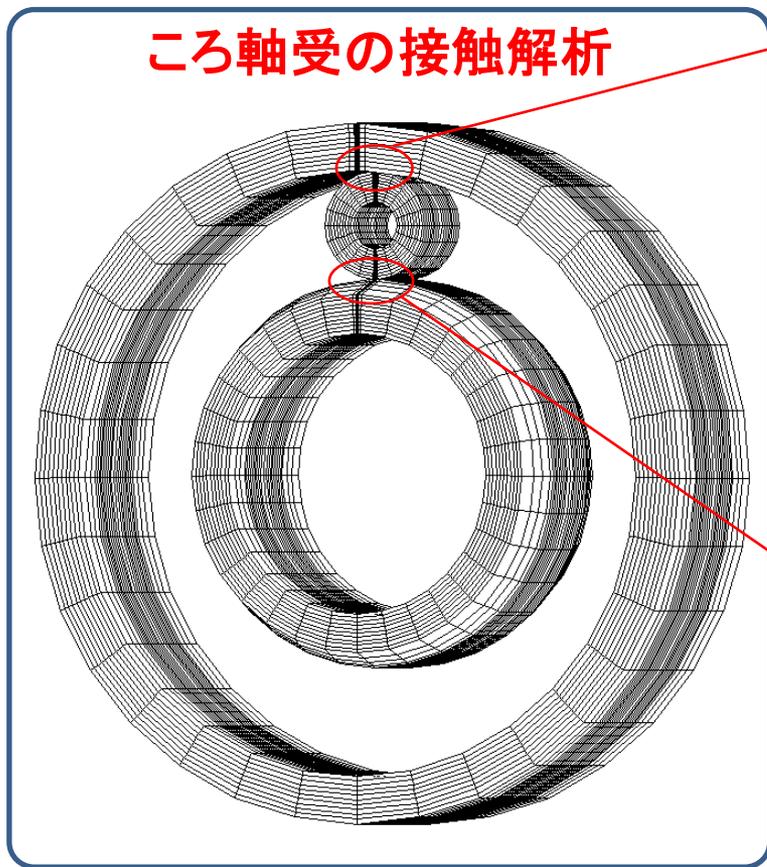
(島根大学の研究)



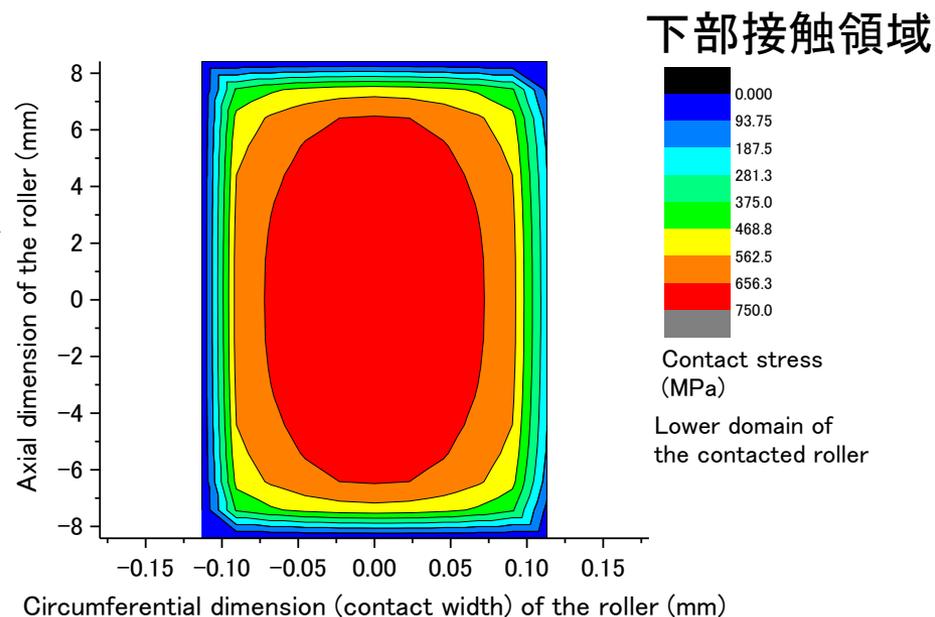
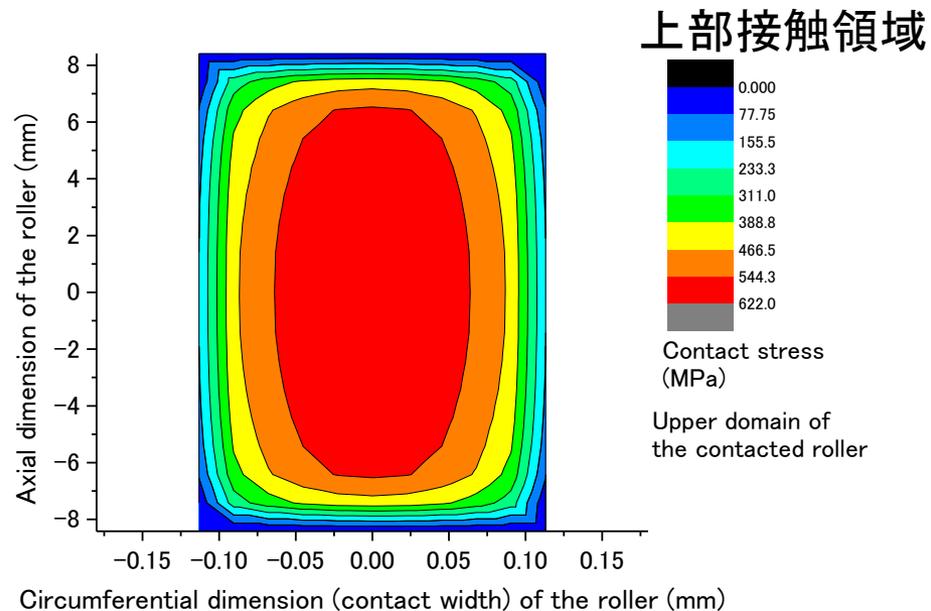
(2) 円筒ころ軸受のころ表面の接触面圧

Johson-Gohar曲線で修整した場合

ころ軸受の接触解析

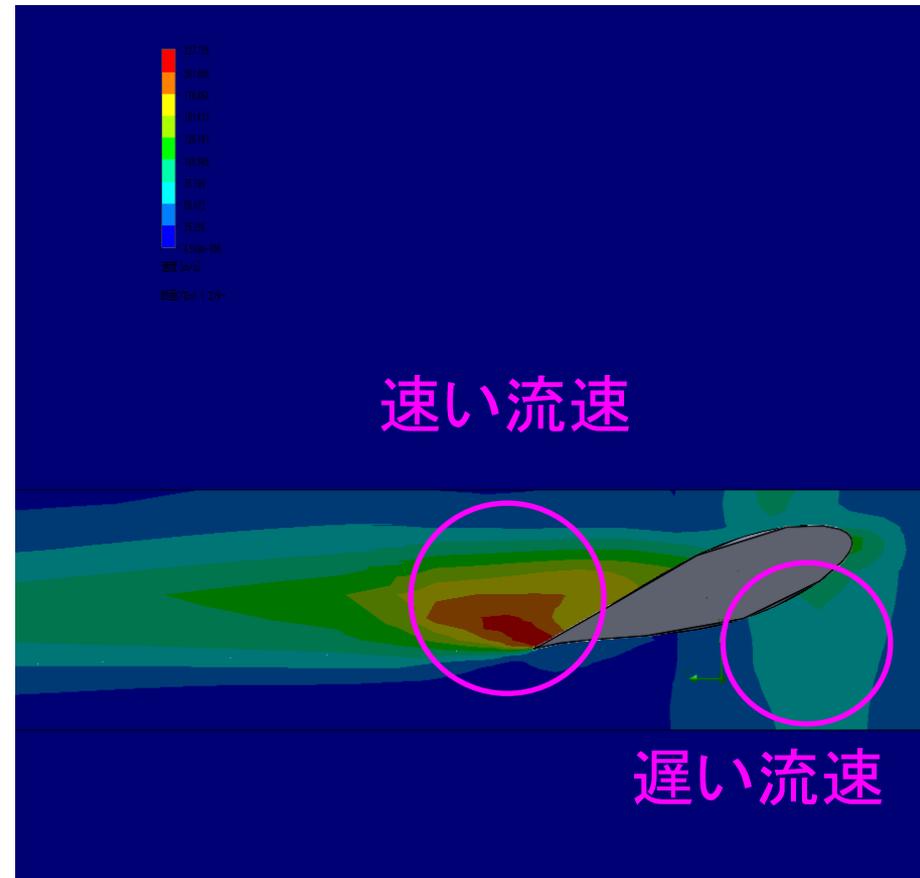
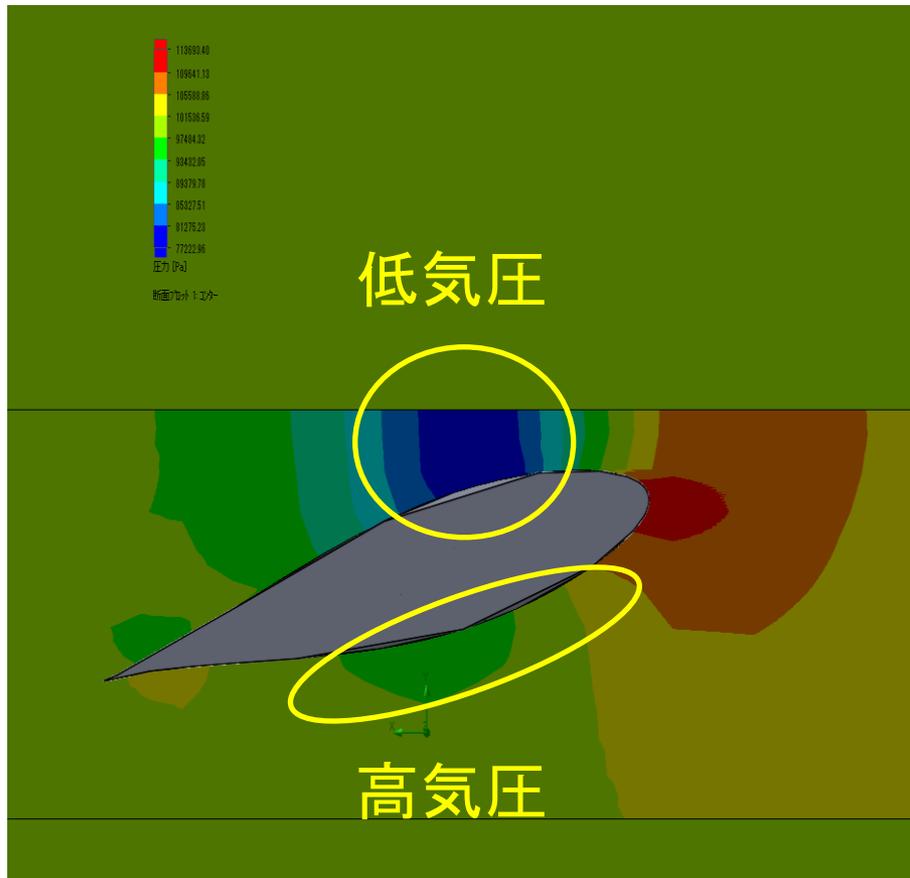


(島根大学の研究)



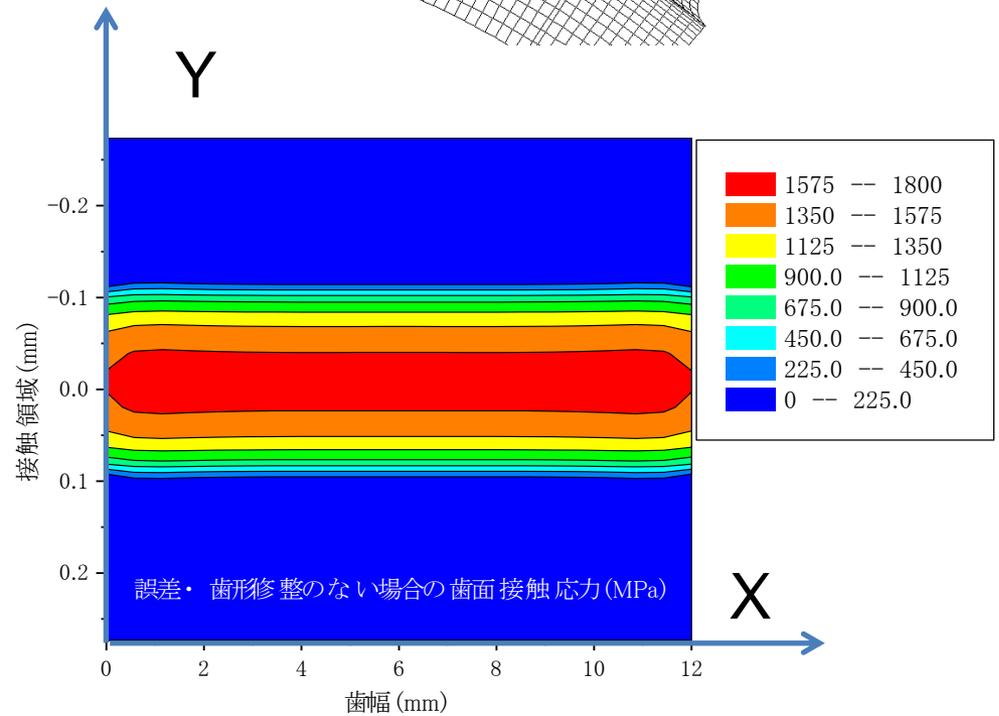
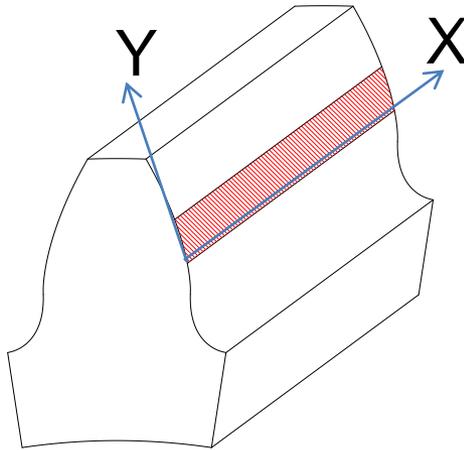
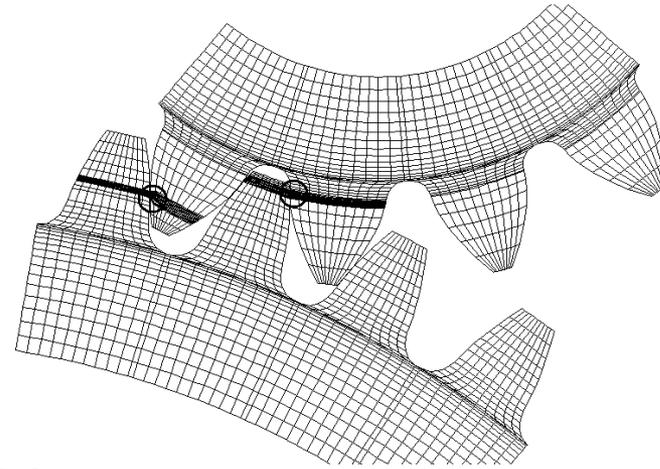
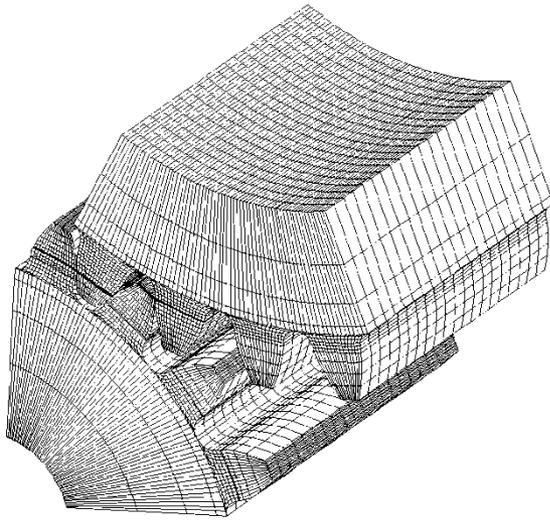
3. 風車ブレードのCAE実例(CFD解析)

CFD = **C**omputational **F**luid **D**ynamics

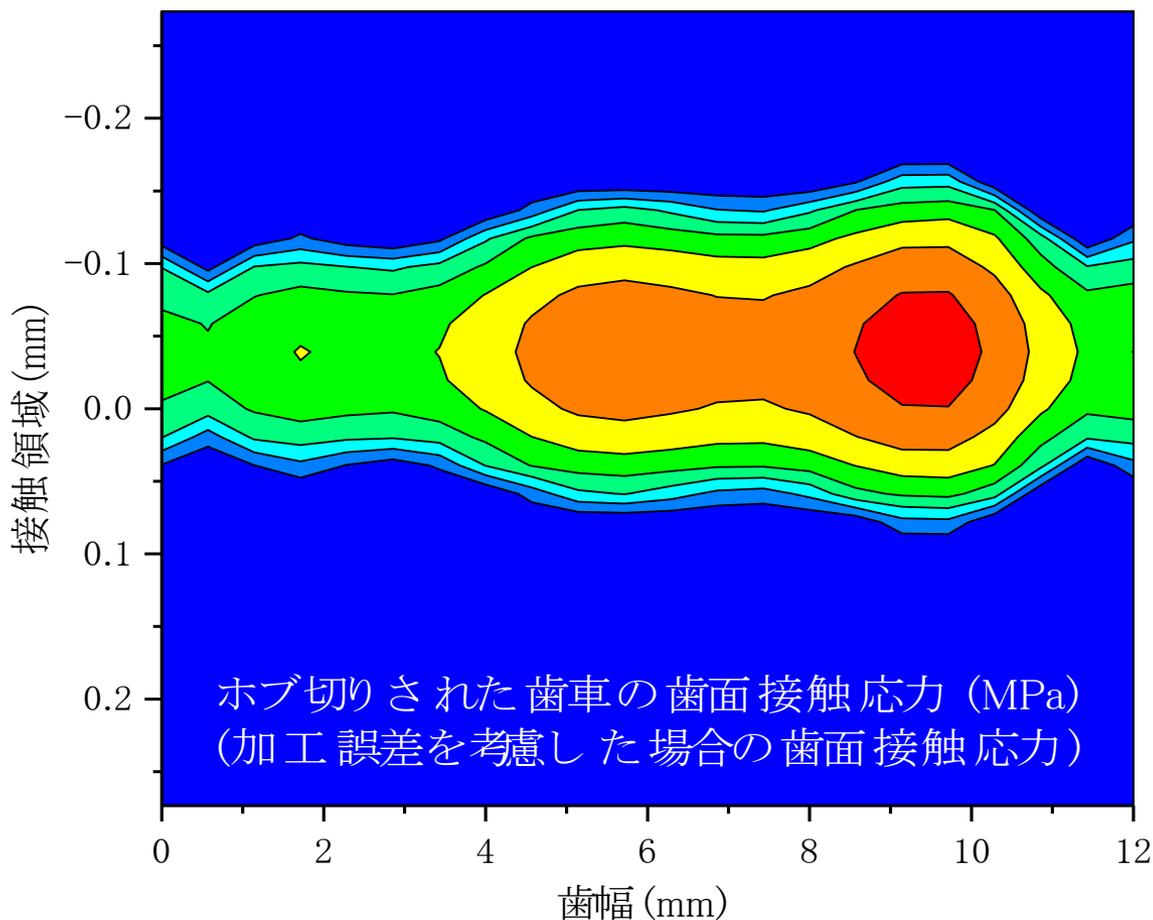


(島根大学の研究)

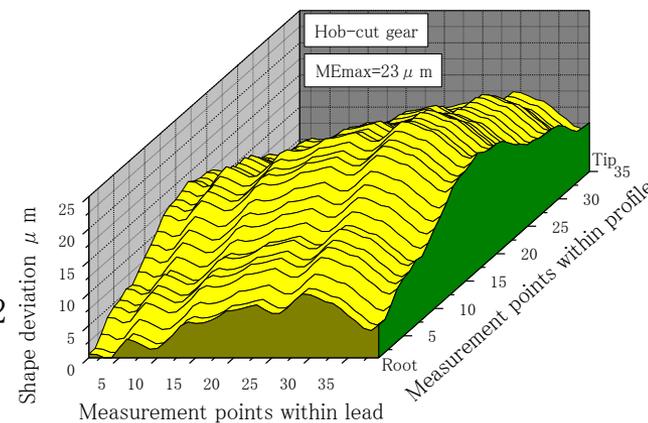
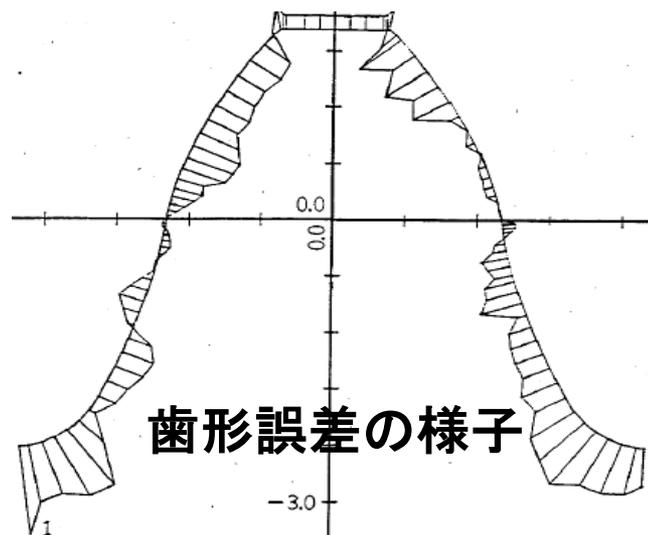
4. 一對の平歯車の接触面圧分布解析



5. 加工誤差を持つ平歯車の歯面接触面圧分布解析



歯面接触応力の詳細分布



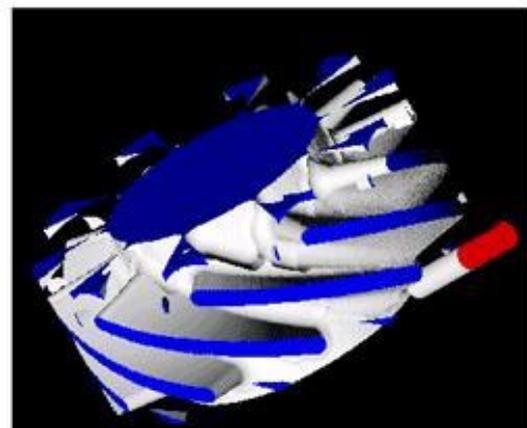
ホブ切り歯車の歯面三次元誤差

CAMとは



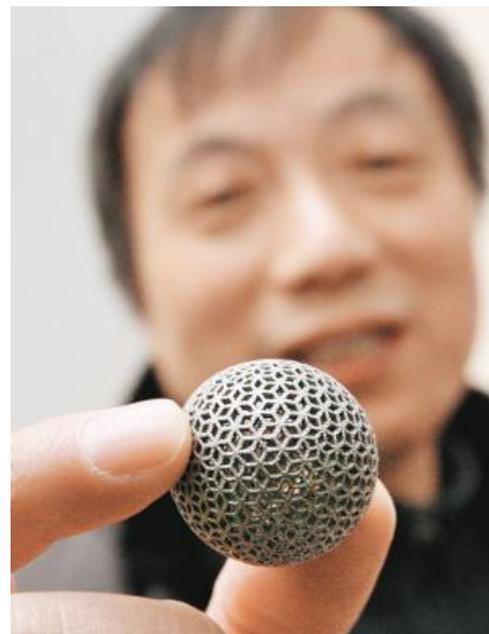
CAD/CAMで加工データ作成

データから加工したもの



最近の製造技術：3Dプリンタ

出典：<http://www.xa-blit.com/>



中国・西北工業大学教授黄衛東が開発した金属3Dプリンタ及びその製品

3Dプリンタとは、3D-CADデータや3Dスキャナデータを元に、主に樹脂の層を細かく積層させていくことで立体モデルを手軽に製作できる装置のことです。

メリット：複雑な形状・構造が作れる

デメリット：部品の形状精度が足りない



機械装置設計の 仕様設定

仕様設定の重要性

設計仕様(コンセプト)の検討は機械の機能と性能を決める重要な過程であり、製品開発成否の決め手でもある。

- 機械にどんな機能と性能を持たせるか、設計仕様の検討により決まる
- 設計仕様の違いにより、構成や形状が大きく変わり、機械の機能と性能も大きく変わる
- 設計仕様が合理であれば、設計した製品が売れなくなる

例1：航空機の設計仕様の検討：



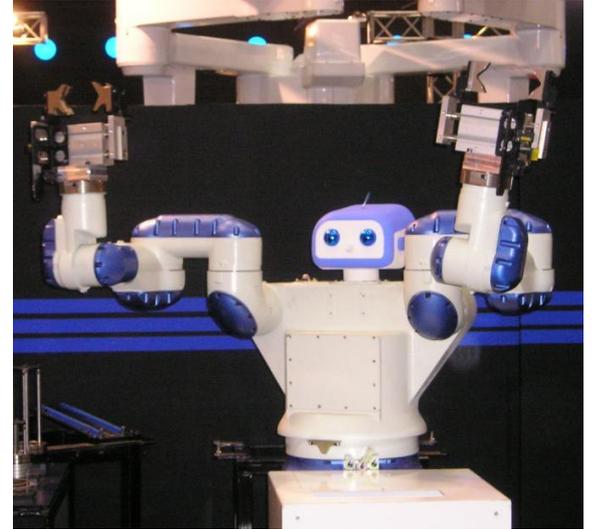
設計コンセプト：

1. 空を飛べる。
2. 人や荷物を運べる。
3. 落ちない。(信頼性設計)。
4. 快適(低騒音、通常大気圧、安定飛行など)
5. 省エネルギー
6. 飛行速度は時速1000km
7. 故障しない。重複使用可(使用寿命10年間)

例2：産業ロボットの設計仕様検討：



(a) Fanuc's Robot*1



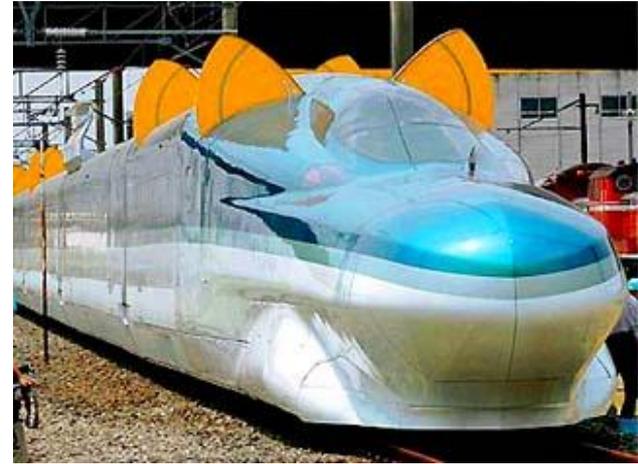
(b) Yaskawa's Robot*2

- 設計コンセプト：
1. 人の代わりに、仕事できる。
 2. 精密に制御できる。
 3. 故障しない。重複使用可
(信頼性設計・寿命要求)

*1: http://www.mekatoro.net/mechatro_parts/vol3/pdf/p03-284.html;

*2: <http://www.yaskawa.co.jp/business/robot/>

例3：新幹線電車の設計仕様



(a) JR東日本社製の新幹線E5系電車及びネコミミ新幹線

設計コンセプト：

1. 人や荷物を運べる。
2. 時速300km以上。
3. 乗り心地がいい(快適：低振動・低騒音)。
4. 安全性(脱線は絶対しない)
5. 故障しない。重複使用可(寿命要求、**信頼性設計**)。
6. 省エネルギー

例4：風力発電装置の設計仕様：

設計コンセプト：

1. 風の力を利用して発電できる。
2. 単機の発電容量は2 MW以上
3. 騒音が小さい。
4. 故障しない(信頼性設計)。寿命20年
5. エネルギー変換効率が高い。



機械装置の 信頼性設計

信頼性設計のコンセプト

安全率 (Safety factor)とは

極限応力(破壊・変形する応力)と、許容応力(機能を保つとする最大応力)との比。許容応力は設計段階での条件によって決定され、極限応力は用いる部材の性質によって定まる。

通常1.2～10の間を取る。

安全率 = σ_s / σ_a (σ_s :極限応力、 σ_a :許容応力)

フェイル-セーフ (Fail safe)とは

機器、部品などの破損や故障、予期せぬ外乱があった時に機械が安全側に作動する設計

フール-プルーフ (Fool proof)とは

誤操作によっても重大な事故を起こさない設計

じょうちようせい

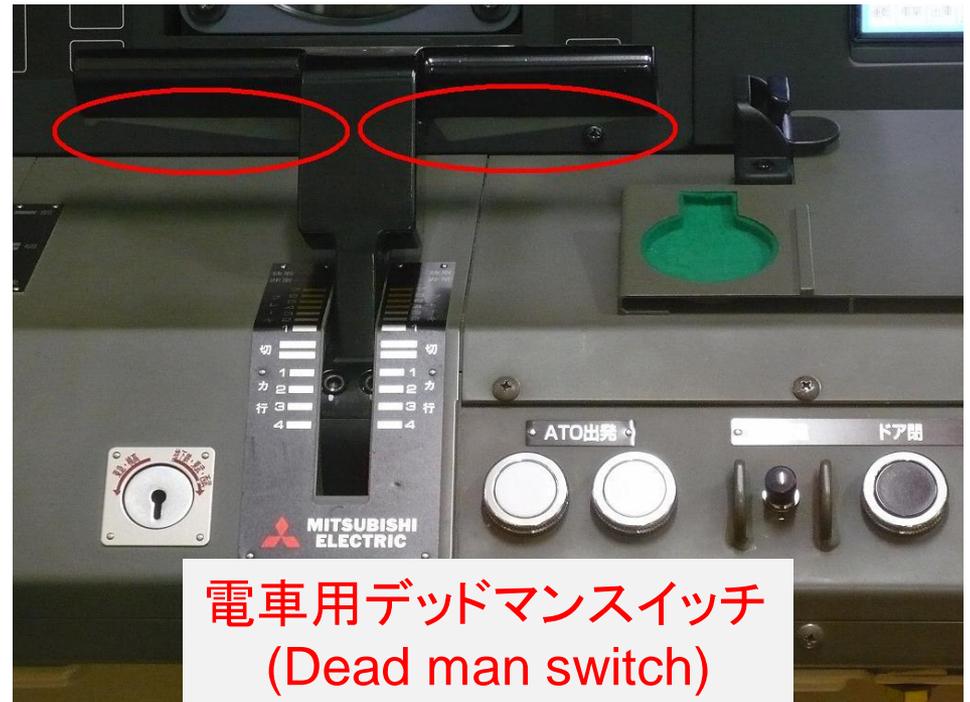
冗長性 (Redundancy)とは

信頼性を高度に要求される部分、あるいは信頼性が尖ると考えられる部分には、故障時に代替しうる構成要素を付加した設計

9. 実際の機械装置から見た製品信頼性設計

(1) 新幹線から見た製品信頼性設計の思想:

1. パンタグラフは2以上
(フェイル-セーフ設計)
2. ブレーキは各車両に付き、独立作動
(冗長性設計)
3. 多条ブレーキ
(フェイル-セーフ設計)
4. 動力車=2以上
(フェイル-セーフ設計)
5. デッドマンスイッチの使用
(フル-プルーフ設計)
6. 速度制限装置の使用
(フル-プルーフ設計)

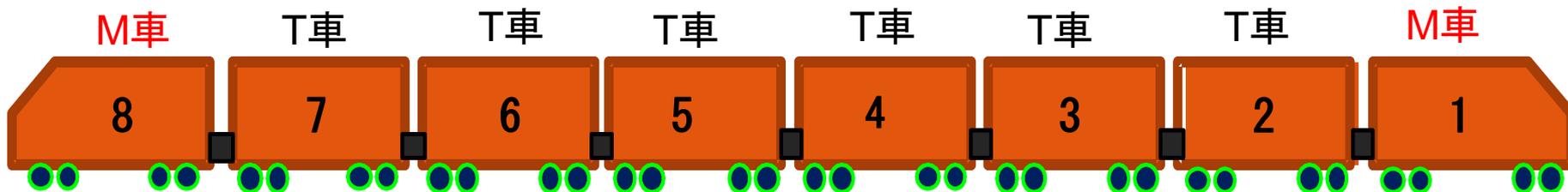


パンタグラフの数(新幹線=2; 在来線=2以上) **フェイル-セーフ設計**

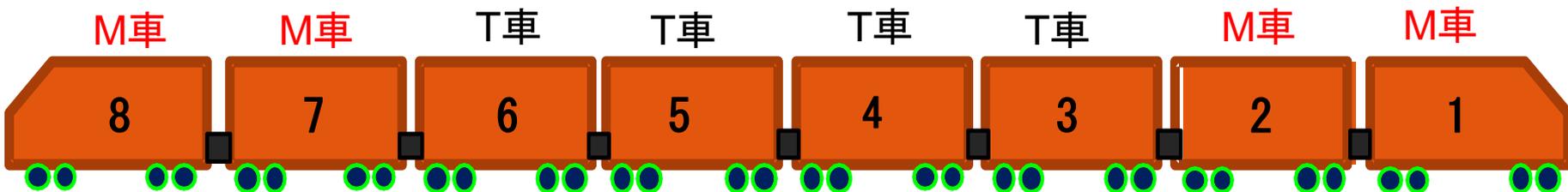


動力車(M車) = 2以上

フェイル-セーフ設計

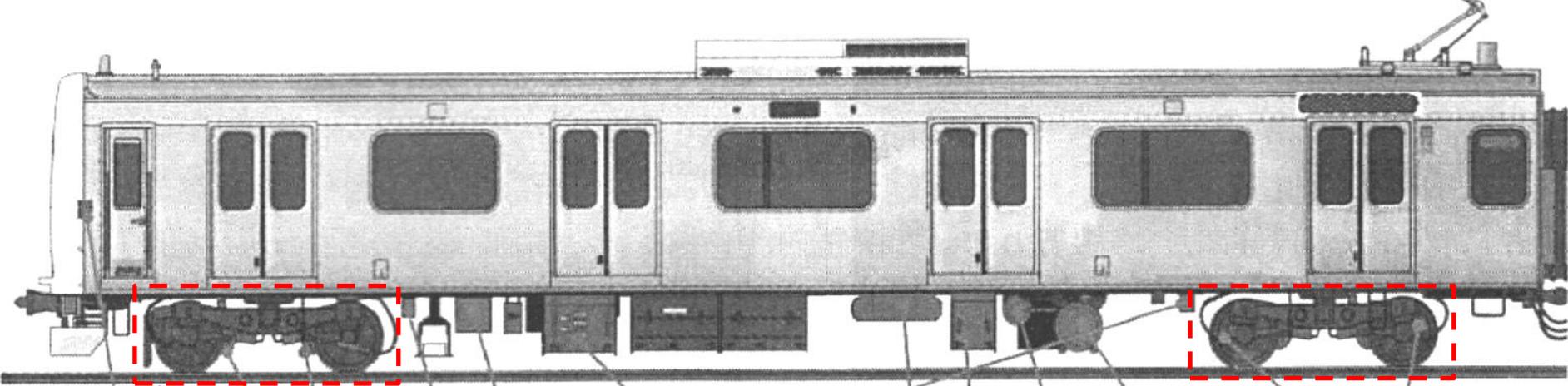


電車の場合



新幹線の場合(動力分流式)

ブレーキは各車両に付き、独立作動設計 フェイル-セーフ設計



台車

ブレーキ設定器

滑走防止弁

ブレーキユニット

ブレーキ指令器

ブレーキ制御装置

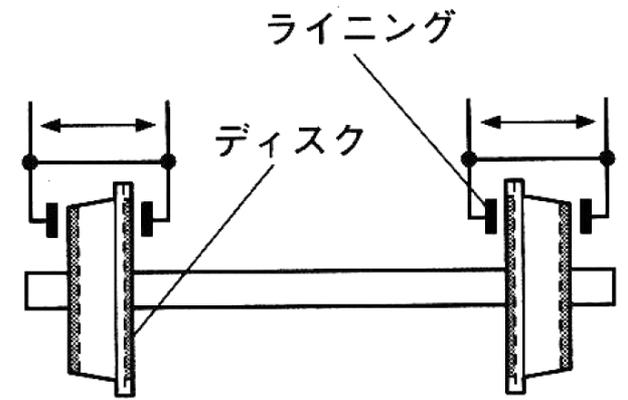
空気タンク

除湿装置

保安ブレーキ装置

電動空気圧縮機

速度センサ



多条ブレーキシステムの使用（冗長性設計）

- (1) 常用ブレーキ: 通常運転時使用、入駅停止や減速に用いる。
- (2) 非常ブレーキ: 非常事態及び列車分離等に作用させる。空気のみ使用。
- (3) 保安ブレーキ: 常用ブレーキ・非常ブレーキが効かない時に使用。
- (4) 駐車ブレーキ: 留置中の車両の転動を防ぐブレーキでバネ力で作用させる。
- (5) 抑速(よくそく)ブレーキ: 速度を一定以下に抑えるためのブレーキ

デッドマンスイッチの使用（フル-プルーフ設計）

デッドマンスイッチ(Dead Man Switch)という列車の運転手や機械のオペレータなどが突然死した場合(死に至らなくても操作ができなくなった場合)に、列車を安全に停止させるスイッチがある。居眠り防止にも効果がある。定期的に生きていることを知らせないと停止させるセーフスイッチだ。

速度制限装置の使用（フル-プルーフ設計）

(2) 飛行機から見た製品信頼性設計の思想:

2システムの対称設計(車輪=2例、エンジン=2、翼、給油システム=2?)

操作ミスを防ぐための操作盤の設計



4エンジン飛行機



3エンジン飛行機

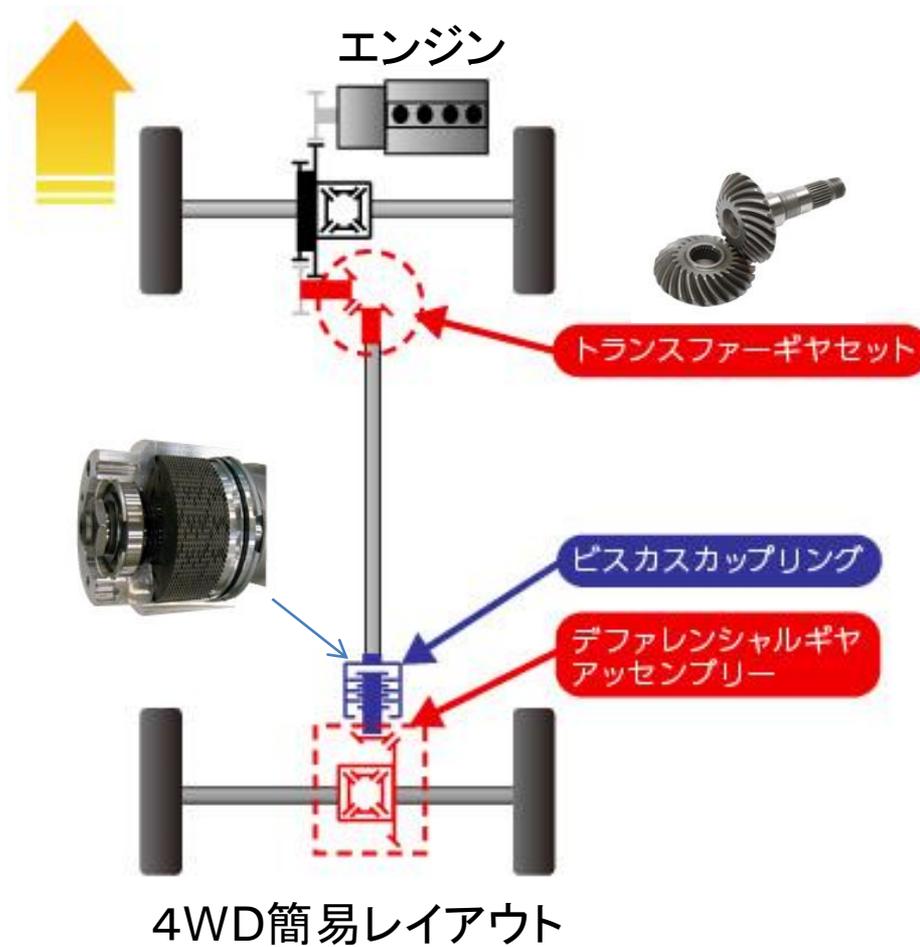


2エンジン飛行機



1エンジン飛行機

(3) 車から見た製品信頼性設計の思想:



機械設計の流れ：機械の電動化設計

航空機の電動化（エンジン⇒モータ）



出典：[「空のテスラ」なるか アメリカを飛んだ世界初の電動旅客機:朝日新聞デジタル \(asahi.com\)](https://www.asahi.com)



出典：[クルマだけでなく、飛行機も「電動」の時代に突入……！ \(msn.com\)](https://www.msn.com)

バイクの電動化(エンジン⇒モータ)



出典: [警視庁初のBMW 電動白バイ出動・先導シーンまとめ!! MPD. BMW electric motorcycle leading the Tokyo Marathon - Bing video](#)

車の電動化(空を飛ぶ車)(エンジン⇒モータ)



出典: [空飛ぶクルマ -株式会社SkyDrive\(スカイドライブ\)- \(skydrive2020.com\)](http://skydrive2020.com)

資料のダウンロードURL:

<https://www.ipc.shimane-u.ac.jp/shutingli/index.htm>

二回目以後の資料PW: 8888