学生プロジェクト教育へのCAE・実製作と連動したTRIZの応用

石濱　正男（いしはま　まさお）
神奈川工科大学・自動車システム開発工学科

目的

- 大学生への発明の方法を教える良い方法の開発
- TRIZによって、プロジェクト型教育カリキュラムの内容充実を行う.

ケーススタディNo.1:
エンジンの吸気系

Formula SAE
学生レーシングカー開発競技
での設計事例

「Formula SAE」とは何か?

- 目的:　体験的な工学教育
- 主催者:　米国自動車技術会
(Society of Automotive Engineers)
- 開催地: 米国・ミシガン州
- 時期: 毎年5月下旬（1989より）
- 参加校: 140 大学（全世界より）
- スポンサー: GM, Ford, Daimler Crysler
ほか自動車関連企業

競技での採点

- 1，000点満点．（以下の2カテゴリの総合）
- 静的競技; 350 点
  製品コンセプトのプレゼンテーション
  デザイン（技術的評価）
  コスト分析 $\leq \$30,000 \approx 3,300,000 Yen$
- 動的競技; 650 points
  発進加速
  8の字旋回
  走行コース2周での時間競技
  耐久走行レース（含　燃費）

神奈川工科大での教育上の位置づけ

- 正規の授業科目
- プロジェクト型体験教育科目
- 講義シリーズ、デザインレビュー、実習（設計、製作）、資金集め、遠征など多彩な内容
- 1年生から4年生までの縦割り（学生の自主的組織による運営も含む）

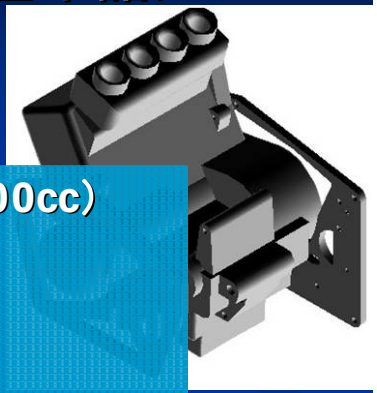
学生が学べること

- 専門知識を統合して活用する能力
- エンジニアリングの一連のプロセスの理解
（企画、概念設計、ｼﾐｭﾚｰｼｮﾝ計算、詳細設計、試作、実験、ﾄﾞｷｭﾒﾝﾃｰｼｮﾝ、コスト分析）
- チームワーク（対人能力）
- プレゼンテーション能力
- 産業界との直接の接触（自らの将来像を描ける）

神奈川工科大の戦績

- 米国遠征
  25位　2004年 (燃費部門1位)
  途中リタイア 2005年
  27位　2006年
- 全日本大会
  2位 2004年
  2位 2005年

使用エンジンの基本諸元



- ホンダ2輪車CBR600F4i（600cc）
- 直列4気筒 DOHC（4弁）
- 電子制御燃料噴射
- 出力72 PS /12,000 rpm
- トルク: 5.2 Nm /10,000rpm

Formula SAEで必要となる エンジン性能

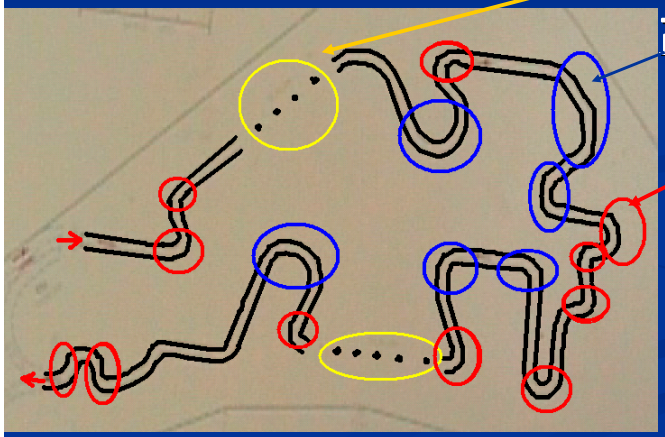
- 低回転速度でトルクが大きいこと
- 応答のすばやさ

理由:

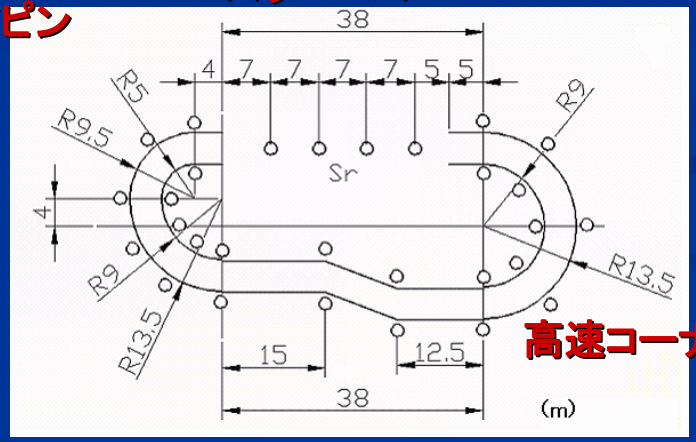
走行コースがカーブの連続

レース走行に不慣れなドライバーが運転

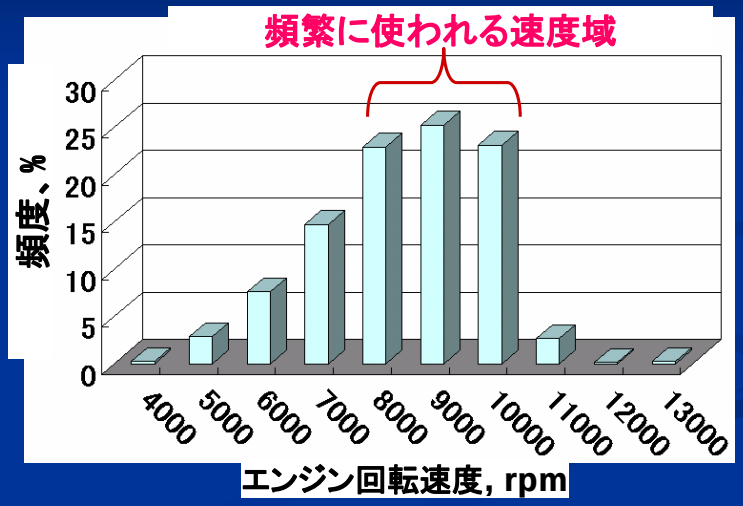
典型的なF-SAEの競技コース



競技コースのエッセンスを抜き出した モデルコースの設定

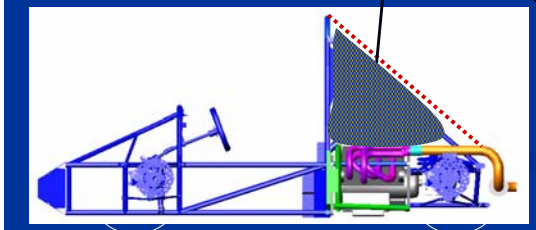


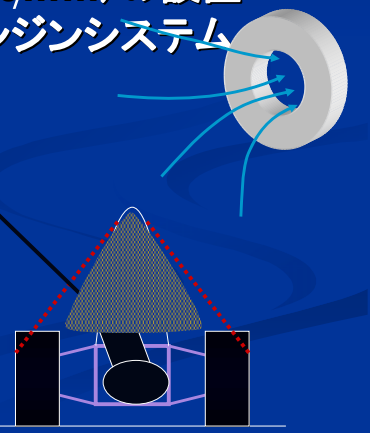
モデルコース走行での エンジン回転速度の分布



エンジン設計への制約条件

- 排気量< 610cc
- 吸気制限オリフィス(内径20mm)の設置
- 下記の空間内に全てのエンジンシステムが納まること。



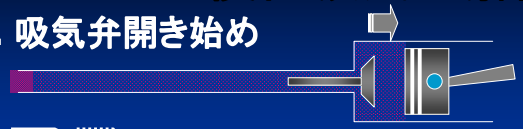


設計原理と実体設計

- 性能チューニングの物理原理
  「慣性吸気」
- 設計の第1ステップ:
  吸排気全系の脈動現象の最適化CAEシミュレーション
- 設計の第2ステップ:
  実体設計→対立マトリクスへと進展

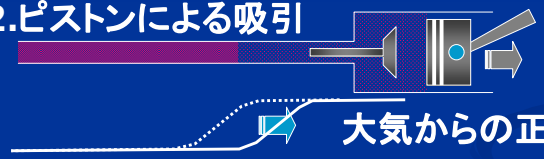
慣性吸気の解説

1. 吸気弁開き始め



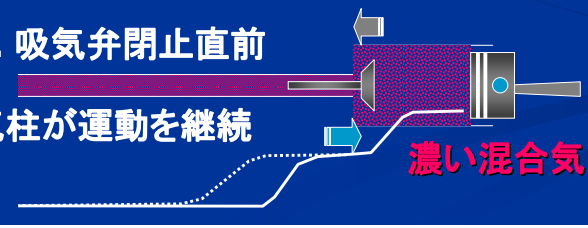
負圧が上流に伝播

2.ピストンによる吸引



大気からの正圧が下流に伝播

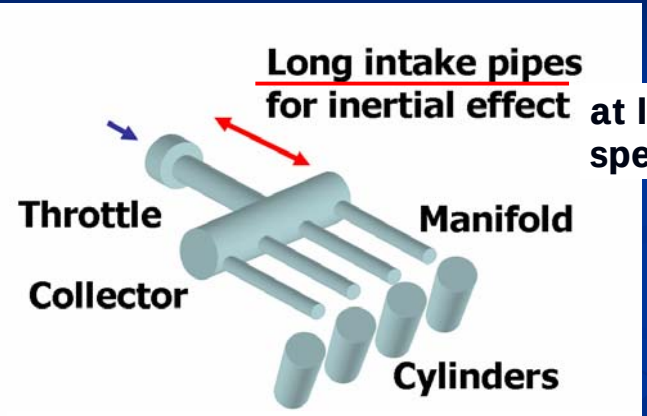
3. 吸気弁閉止直前



気柱が運動を継続

濃い混合気が詰め込まれる

慣性吸気を活用するための吸気管長



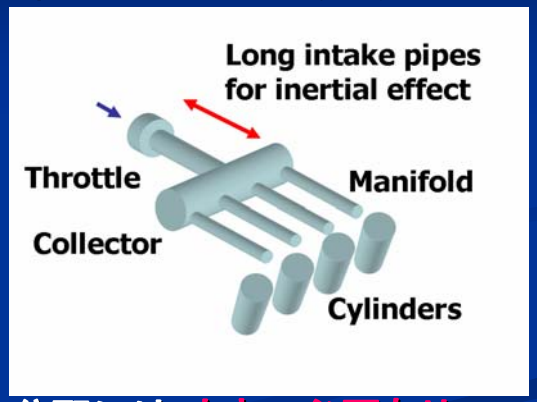
具体的な長さはどれほど？

空間的な制約条件に納まるのか？

吸気コレクター容量の調整

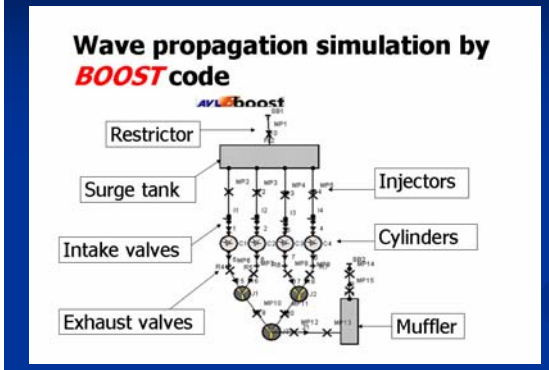
- すばやい応答には容量は 小さい必要あり

この二つの要件を同時に満たす容量は存在するのか？



- 各気筒への均一な分配には 大きい必要あり

吸気系の性能シミュレーション



準1次元の脈動計算モデル。長さ、断面積などのみで表現。
詳細な形状は表現できない。

- 空間的制約条件を考えなければ、性能要件を満たす吸気系のディメンジョンは見つかった。
- この結果、設計者（学生）は素早く実体設計に移ることが出来た。

実体設計

A. コレクターの設計

コレクターの発揮すべき機能

- 圧力損失を最小にする
- 各気筒への吸気分配を均一にする

機能実現の方策

- 空気の流動速度を下げる
- シャープエッジを避ける
- 各気筒への流路の断面積を等しくする
- 各気筒への流路での曲がりを等しくする

製作や安全面からの制約条件

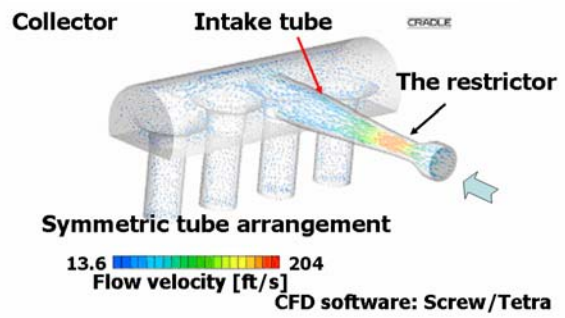
- 自由な形状実現には鋳造が好適だが、設備がない。
- FRPの使用可能性はあるが、安全面で不安が残る。

可能性の高い解：
アルミ板金の溶接によって、円筒状のコレクターを形成する。

吸気管の設計

- 吸気系内部の流速分布計算用モデル

吸気管の広がり角度は、乱流防止のために15度以下が必要



この設計案は性能要件を満たす。しかし、占有空間が大きすぎる。

学生による発明

相互に矛盾する要求

A) 吸気管は長く、まっすぐが望ましい。
B) コレクターは十分な容積を必要とする。
C) コレクターは空気の乱れを最小限にし、各気筒に均一な分配をしなければならない。
D) どの部品も単純な設備で製作できなければならない。
E) 小さな空間内に、全吸気系が納まらなければならない。

吸気系設計での対立マトリクス

改善したい特性	悪化する特性	発明原理
静止物体の長さ	静止物体の面積	17, 7, 10, 40
	動く物体の体積	35, 8, 2, 14
	力	28, 10
	出力・動力	12, 8

発明の原理と具体的な解

#7 入れ子構造

=> 吸気管をコレクター内に深々と挿入

#14 直線から曲線へ

=> コレクター壁面を半球状にして、空気流をスムーズに反転させる。

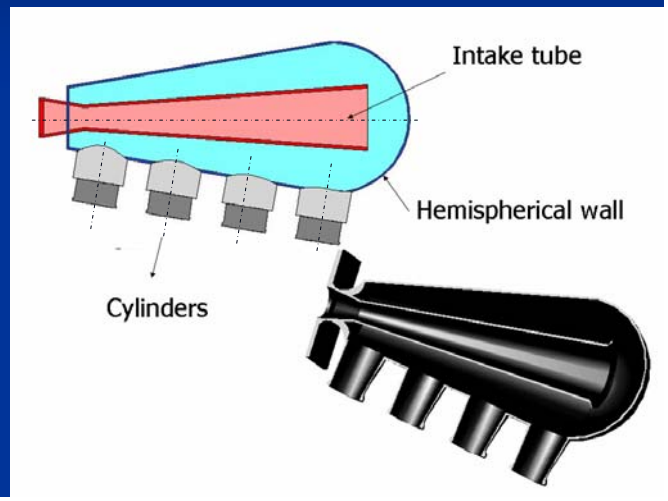
発明原理と具体的な解（続き）

#17 他の次元への移行

=> コレクター内の空気流路を、半径方向と周方向の3次元的運動となるようにデザイン。

発明の具体化

- 発明された吸気系の断面図



発明にあたっての製造面でのメモ

- 製造方法の選択:

吸気管; 一部を旋盤加工

コレクター殻; 半球状バッフルを強度と組み立て精度確保中心として旋盤加工。これにアルミ板金の曲げと溶接で組み立て。

- 発明を行ううえで学生は最初から加工法を考慮。
- この学生は、プロジェクト科目の中で機械加工や溶接などの体験をもっていて、発明の実現性をすぐに判断できた。

発明案の性能評価(計算シミュレーション)

No.1 気筒が吸気中の流線

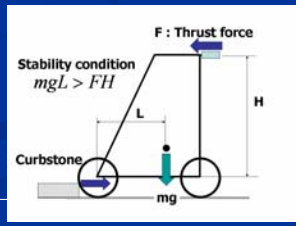
No.3 気筒が吸気中の流線

- どの気筒へもほぼ均一な流量(±2%)を分配することがすぐに確認できた。

ケーススタディ No.2
屋外用歩行支援機の開発

プロジェクトの概要

- 歩行障害を持つ人々により大きなモビリティ
- 日々の生活ニーズを満たすと同時に、適度な運動を。例えば郵便局やコンビニなどに
- 凹凸のある路面の走破や、段差乗り越えを、振動を少なく、そして「しっかり感」で使える。ちょうど自動車のように。

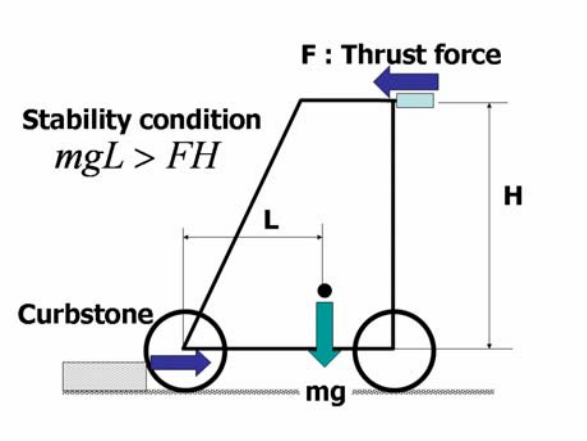


段差乗り越えの力学

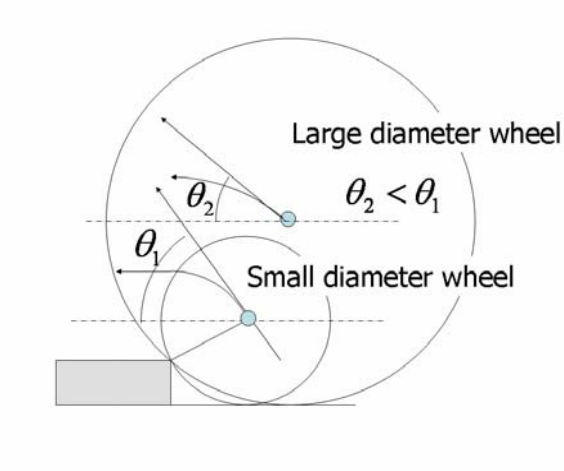
前方への転倒に対する余裕を増すには：

推進力F は小さく

前輪と重心の距離L は大きく



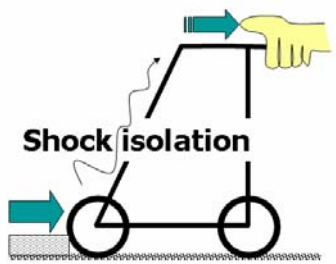
段差乗り越えには前輪直径を大きく

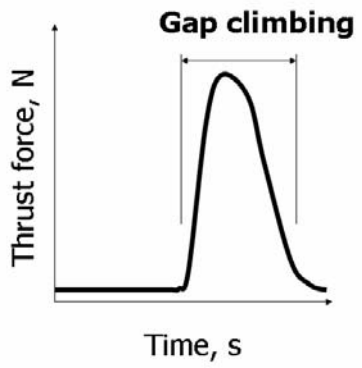


- 縁石（50mm）の乗り越えには、直径500mmの車輪が必要。
- しかし、500mmの車輪は大きすぎて、足を自由に動かせない。

振動防止という要件

推進力が大きいと → 握りに大きな反力が返る



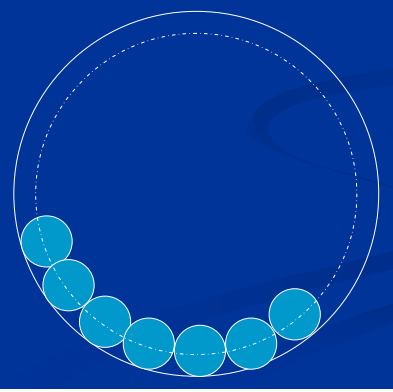


歩行支援機設計上の矛盾の整理

- 改善したい特性：
  推進力（最大値）の低減
- 悪化する特性：
  車輪の直径が大きくなる
  柔らかいサスペンションでは不安定になる

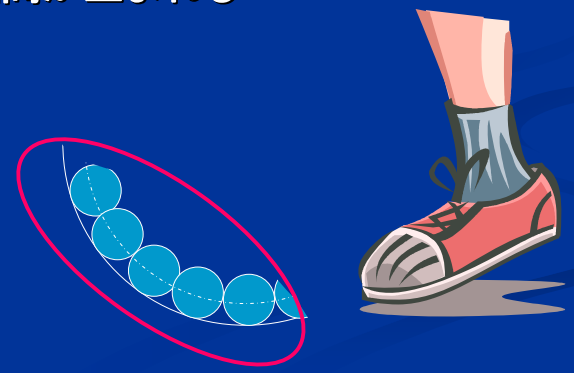
発明原理

- セグメンテーション（細分化）：
- 小さい直径の車輪の包絡線で大きな車輪外形を近似



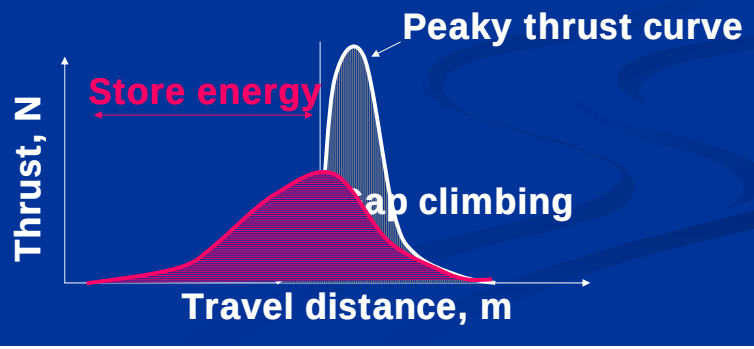
発明原理（その2）

- 非対称性：
  包絡線の前側下半分だけを使うと足を動かす空間が生まれる

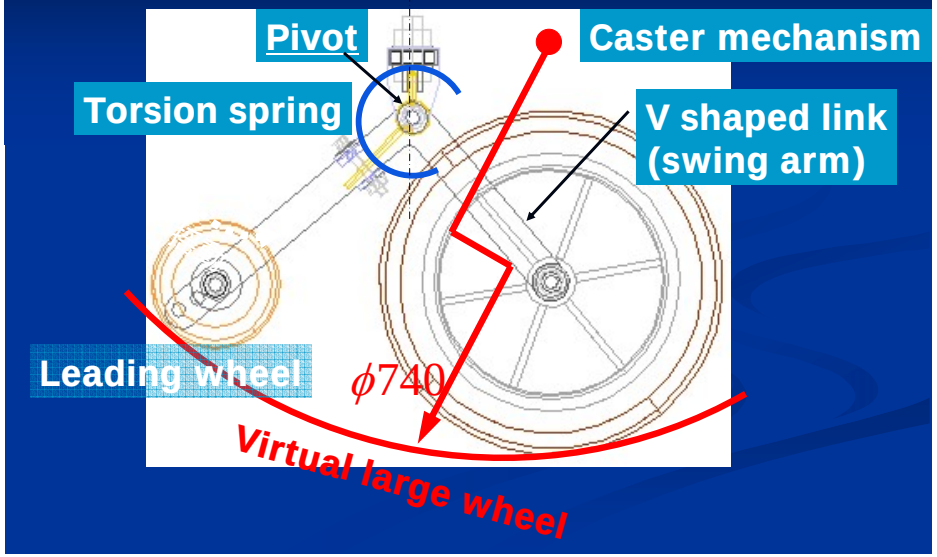


発明原理（その3）

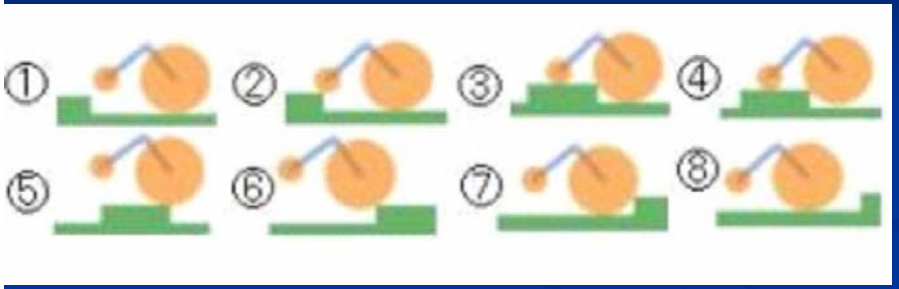
- アクションの先取り：
  前輪サスペンションに段差乗り越え前にエネルギーを蓄積。それを段差乗り越え時に一気に吐き出して使う。こうすれば、握りにかかる推進力の最大値を小さくできる。（棒高跳びの原理）



多輪包絡線理論と棒高跳び原理を応用した前輪の具体案

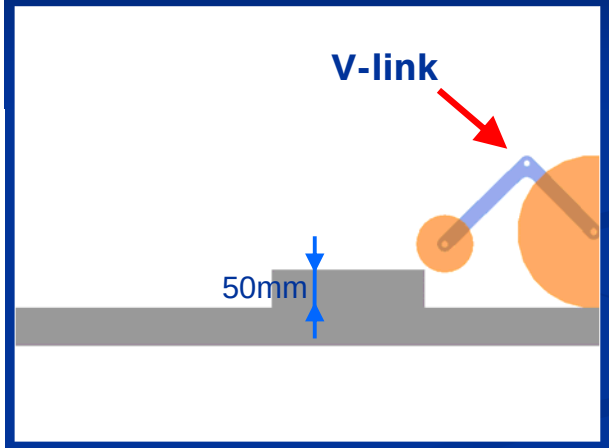


発明案のテスト



- マルチボディ動力学によるシミュレーション
- 設計者（学生）にはCAEの経験があったので、すぐに発明案の成立性を確認できた。

動力学シミュレーションの結果



計算結果のアニメーション

主輪が段差に当たる。

↓

V型リンクがスイング

↓

誘導輪が段差上に乗る

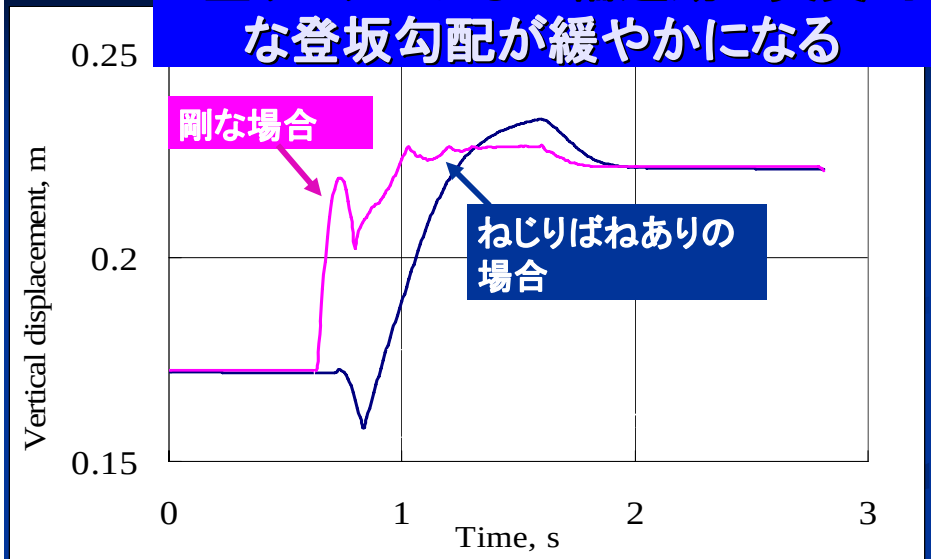
↓

ねじりばねにエネルギーを蓄える

↓

エネルギーを吐き出して段差に乗り上げ

V型リンクによる主輪運動で実質的な登坂勾配が緩やかになる

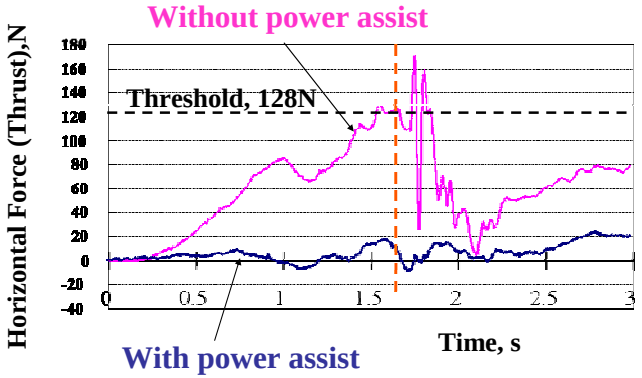


Bump height = 50mm

歩行支援機の試作機

モーター補助によるさらなる効果

計測された推進力は、歩行障害者が出しうる限界をはるかに下回り、OK。



結論

- 学生に発明を教える上での教訓が得られた。
- 学生の有するCAE使用能力や製作の経験が、発明の学習に大きな効果を持つ。
- TRIZを学ぶには、プロジェクト型授業が有効。