

令和4年度 電気電子工学科卒論説明会 川畑・平山研究グループ

担当教員	テーマ
川畑	超伝導変圧器用次世代高温超伝導線材の均流特性の評価
	液体窒素蒸発法による高温超伝導コイルの交流損失特性評価
	高温超伝導電力ケーブル用Bi2223テープ線材の交流損失特性評価
	桜島火山降灰地域に適した太陽電池モジュールの開発に関する研究
平山	高速リニア搬送システム用可変界磁リニアモータの開発に関する研究
	リニアモータのセンサレス制御に関する研究
	ロープレスエレベータ用高温超伝導リニアモータの開発に関する研究



リニア搬送システム

実用例

- “LCMR200”@YAMAHA
- “ACOPOStrak”@B&R Industrial Automation
- “iTRAK 5730”@Rockwell Automation
- “MagneMover LITE”@MagneMotion など

自由なレイアウト&省スペース, 省メンテナンス&長寿命
高速&高精度&高加速, 高信頼性, スループットの向上



搬送時間の短縮, 高い生産性, コスト低減

半導体製造, 電気・電子部品, 車載部品の組立工程, 物流業界などで

生産効率向上のためにリニア搬送システムが必要不可欠

課題

リニアモータの製品例

- “LM-Fシリーズ”@三菱電機
- “SGLF2 Series”@安川電機 など

界磁に永久磁石を使用

- 低コスト化の妨げ
- 安定調達に懸念
- 無価値時間（ワークを運ぶだけの搬送時間）での消費電力低減の妨げ
- 高速運転時の特性低下

位置センサが必要

- 低コスト化の妨げ
- 省スペース化の妨げ
- 高速, 高加速の妨げ
- 信頼性の低下

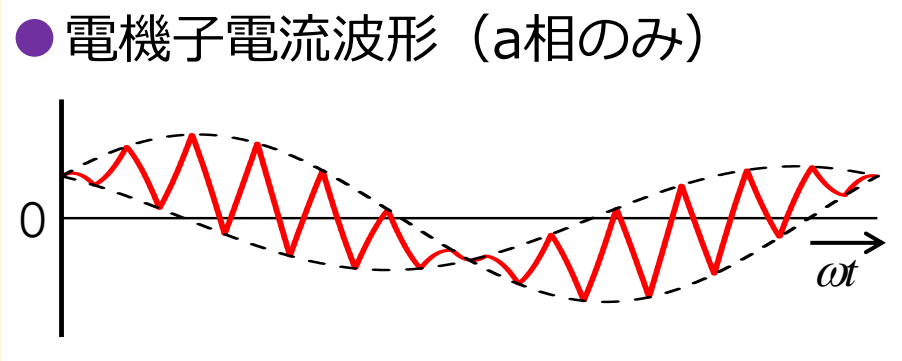
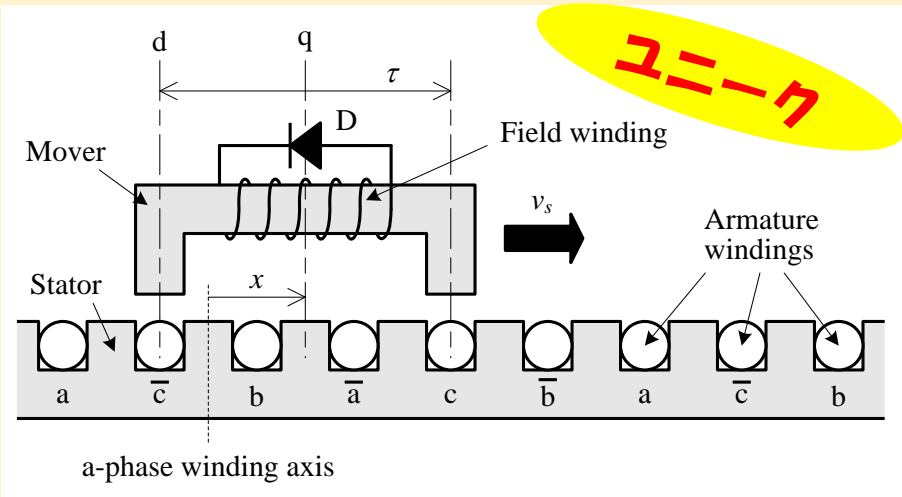
これらの課題を解決し,
SDGs達成にも貢献できるような,
低コスト, 省エネ, 省資源を目指した
新しいリニア搬送システムを実現

リニアモータでイノベーションを
起こす!



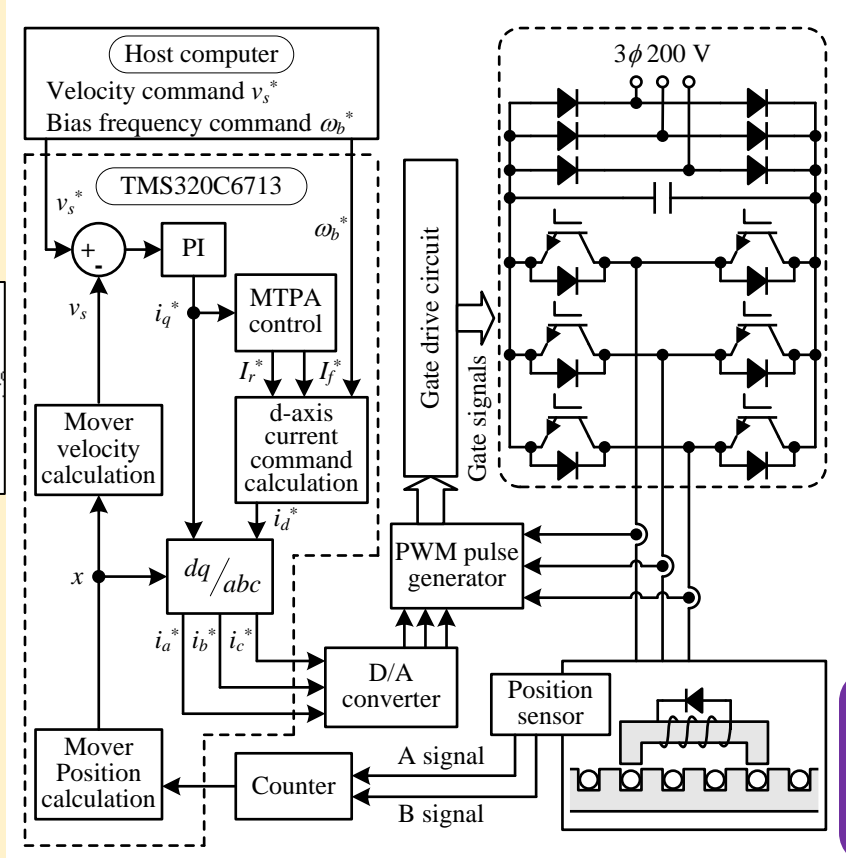
高速リニア搬送システム用可変界磁リニアモータの開発に関する研究

永久磁石を用いない，パワエレ技術を駆使した自励式で可変界磁のリニアモータ



```
//速度PI制御↓
werr_old = werr; ↓
werr = scom-speed; ↓
iq += KP*(KI*werr+werr-werr_old);
iq_MAX = SQRT_3*sqrt(Iam*Iam);
if(iq > iq_MAX) iq = iq_MAX;
else if(iq < -iq_MAX) iq = -iq_MAX;
//PIリセット
```

デジタル
信号処理
(DSP)



インバータ

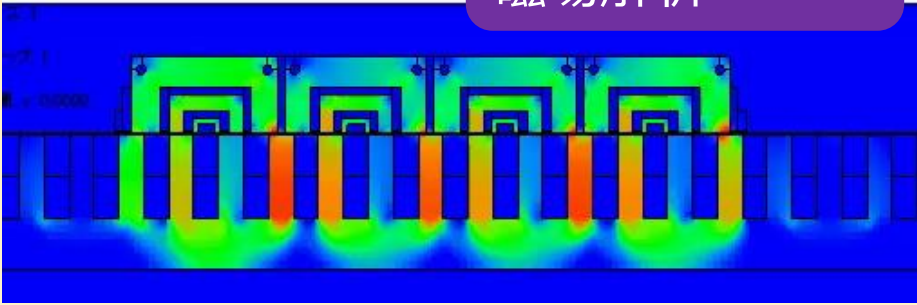
リニア
モータ
本体



高速リニア搬送システム用可変界磁リニアモータの開発に関する研究

設計と特性解析

専用のソフトで
磁場解析



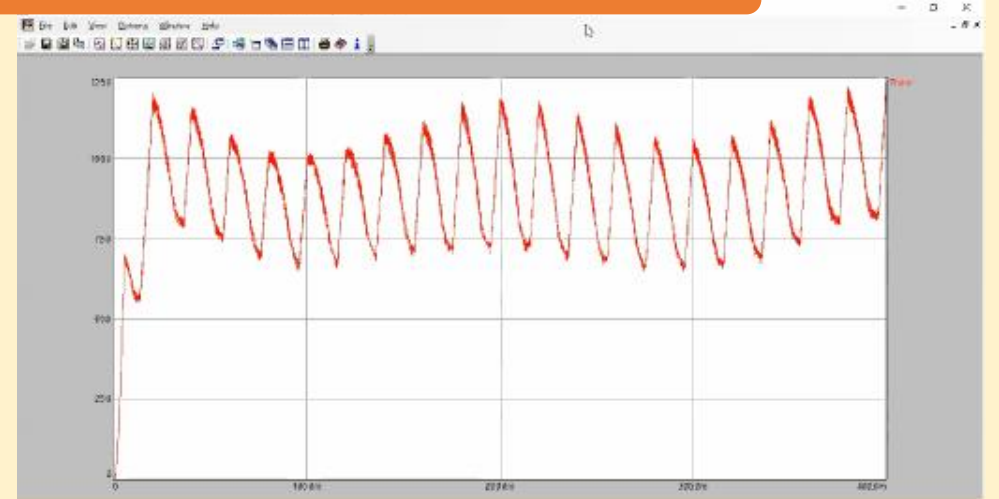
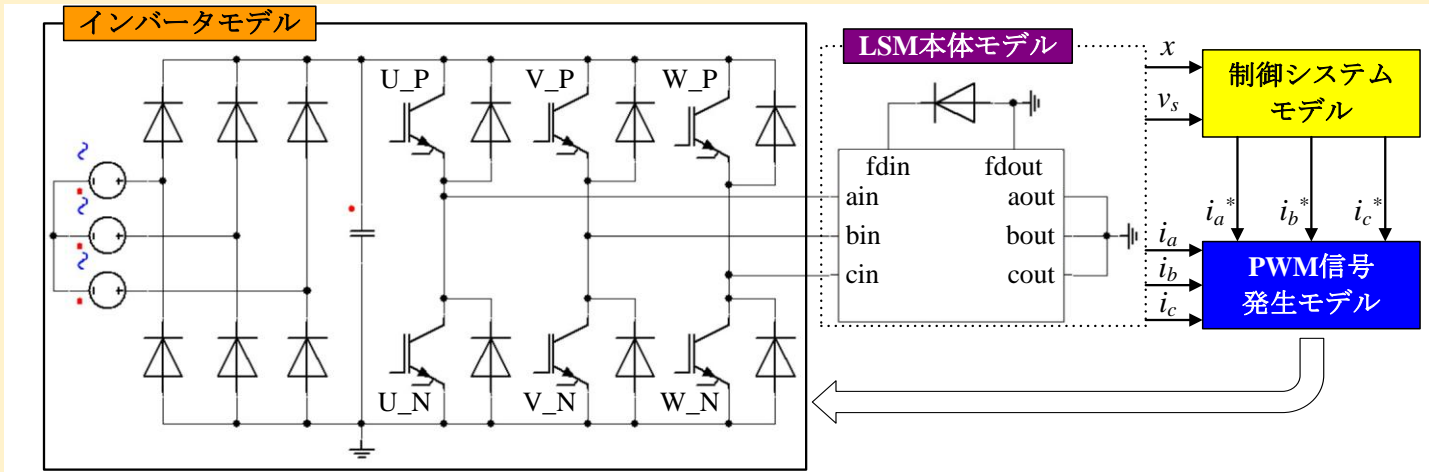
実験装置の作製と実験



実験機の特徴測定, 制御法の検討

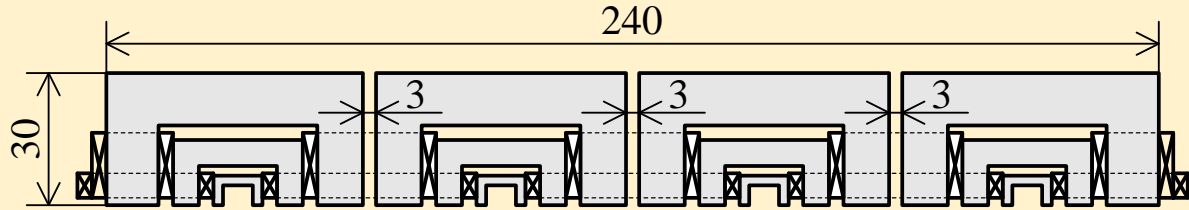
シミュレーション

回路シミュレータでリニアドライブシステムのシミュレーション

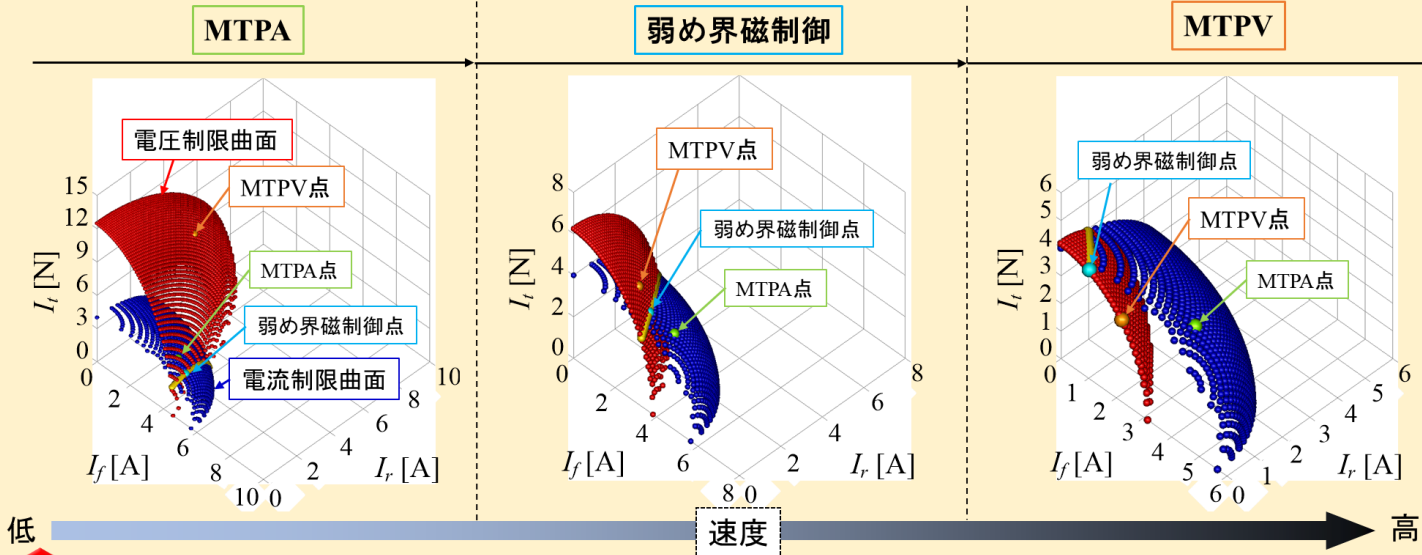


高速リニア搬送システム用可変界磁リニアモータの開発に関する研究

設計 推力密度を向上するリニアモータの設計

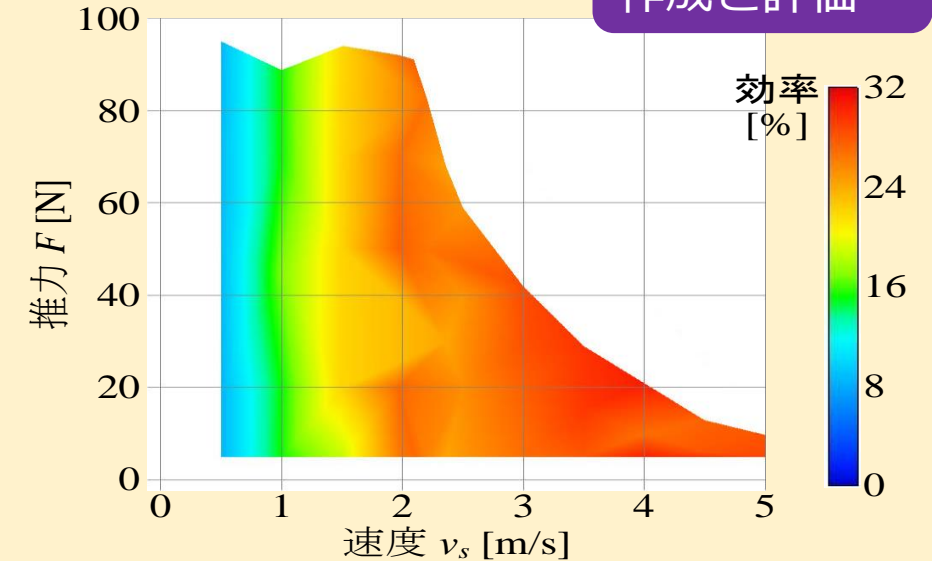


制御 運転領域の拡大と低損失化を実現する制御法

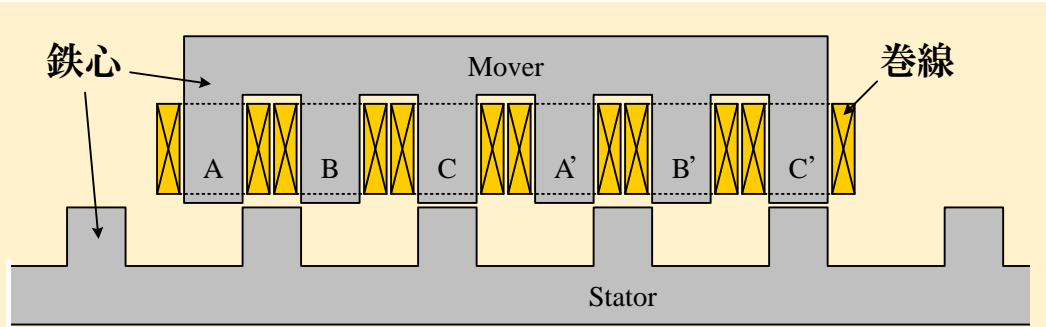


これまでの成果の一例

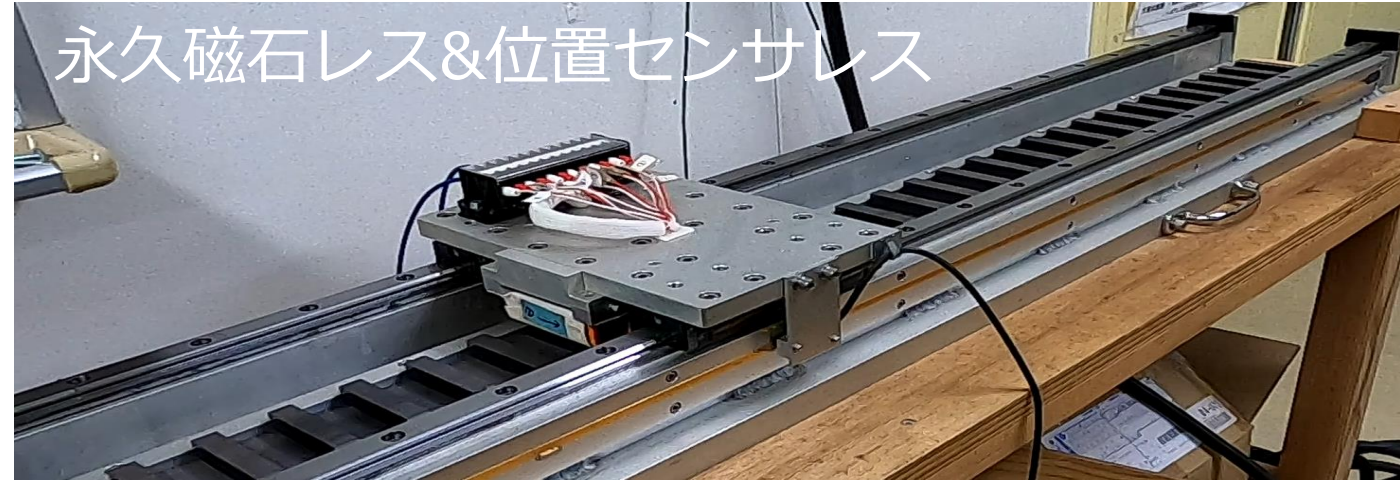
効率マップの作成と評価



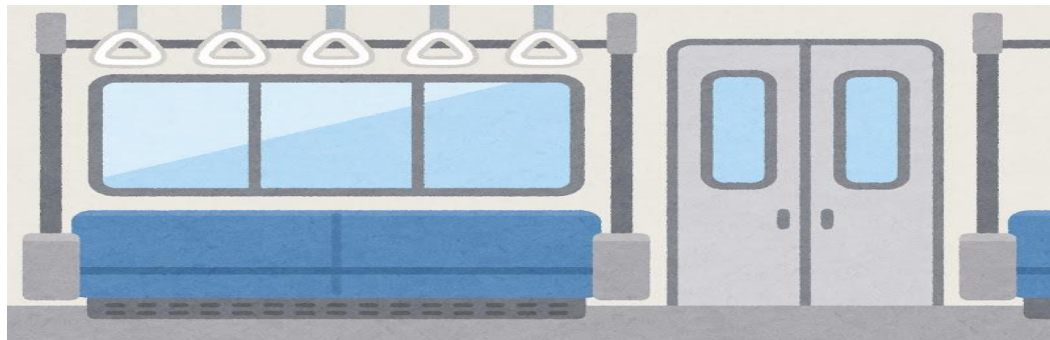
パワーエレ技術で実現されるリニアスイッチトリラクタンスマータ (LSRM)



- 簡単, 堅牢, 安価, 故障に強い構造
- 可動子位置に応じて通電を切り替えて駆動



鉄道車両用側引戸電気駆動ドアシステムに用いられる永久磁石型リニアモータ

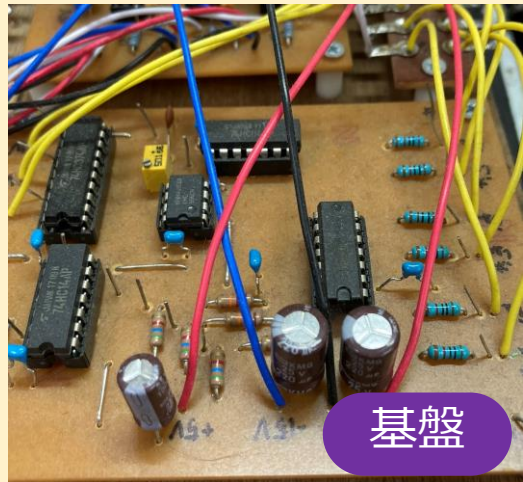
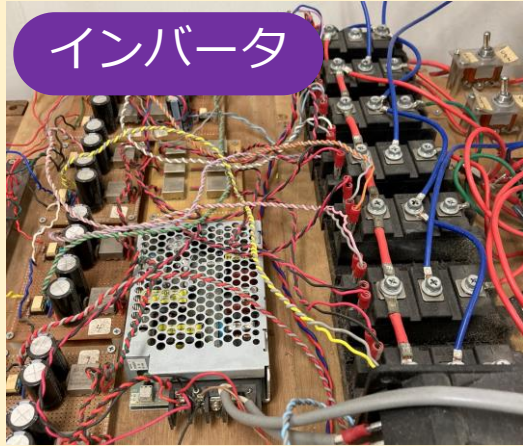


位置センサレス制御

制御装置や制御技術を駆使して位置センサを用いずに電流, 電圧から可動子位置を推定

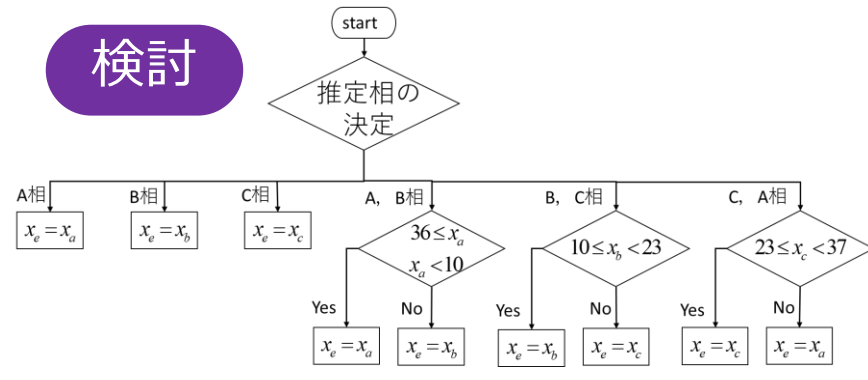


駆動システム的设计



制御法の検討, プログラミング

検討



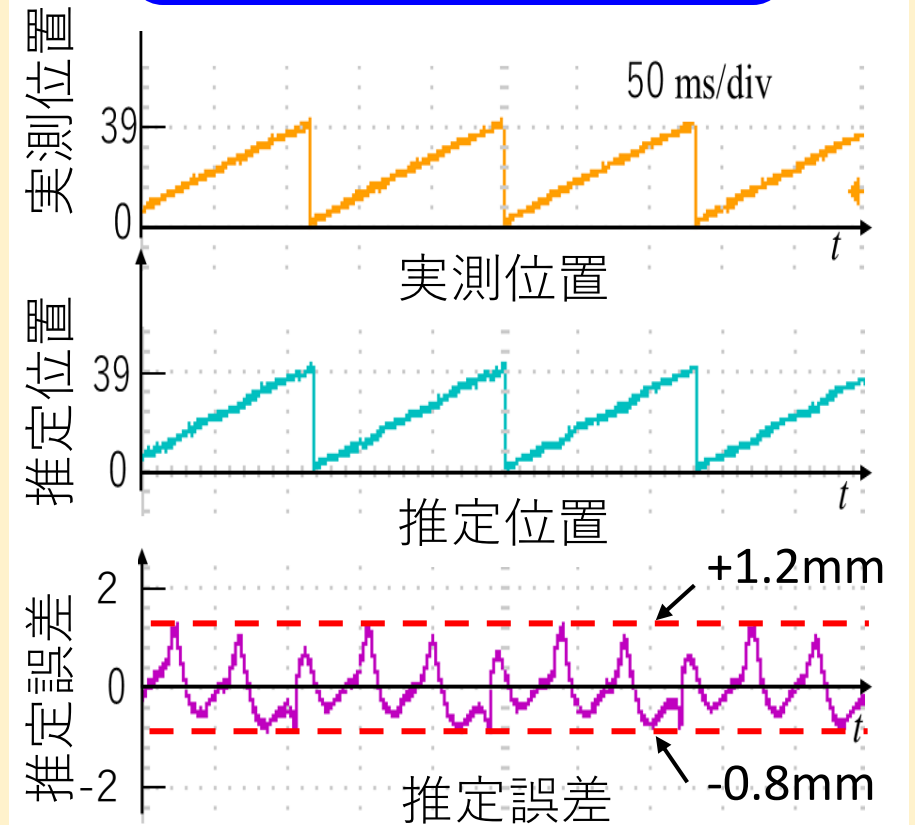
```

74 /*-----*/
75                                     interrupt function (ADC complete)↓
76                                     -----*/
77 interrupt void c_int02()↓
78 {↓
79     volatile int exciting_data=0x0000;↓
80     volatile int ignit_A=0x0000, ignit_B=0x0000, ignit_C=0x0000,
81     ↓
82     //位置センサからのデータ取り込みと位置算出↓
83     udc_data = sbox_CntGet(0);↓
84     enc = udc_data - pshift;↓
85     x_act = enc*Order;↓
86     x_act2 = fmodf(x_act, 39.0);↓
87     x_act2 = ((x_act2 >= 0.0) ? x_act2 : (x_act2+39.0));↓
88     ↓
89     //実測速度の計算↓
90     denc = enc-(*sb_p);↓
91     speed = denc*Order/SBT;↓
92     *sb_p++ = enc;↓
93     sb_p = ((sb_p<=sb_e) ? sb_p : sb_s);↓
94     ↓
95     //運動方向フラグの判別と指令速度の設定↓
96     if(x_act >= xposi_com) xcom_flag = 0;↓
97     else if(x_act <= xposi_com) xcom_flag = 1;↓
    
```

C言語

これまでの成果の一例

LSRMのセンサレス制御



ロープレスエレベータ用高温超伝導リニアモータの開発に関する研究

エレベータ

従来のロープ式エレベータ：ケーブル，カウンタウェイト，モータを使って駆動

- ビルの高層化に伴って床面積が減少（例：100階建てでは全空間の約30%をエレベータに使用）
- ケーブルの長さや強さ，重さによりエレベータの高さ，速度に制限

キャabinをリニアモータで駆動

ロープレス

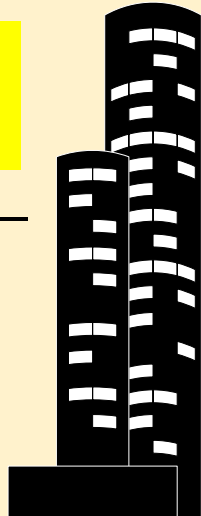
- 1シャフトに複数のキャbinを駆動
- 垂直+水平移動

限られた建物の容積を有効に利用，待ち時間の緩和，経済効率の向上

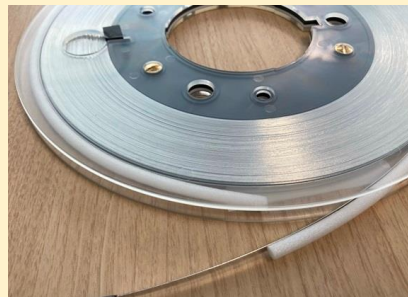
● ロープレスリニアエレベータ

“MULTI”@thyssenkrupp Elevator

- 約250mのテストタワーで試験運転中



高温超伝導線材の応用



高電流密度によるモータの高推力密度化

- さらなる省スペース化
- 輸送重量の増加

次世代の縦方向輸送システムの開発



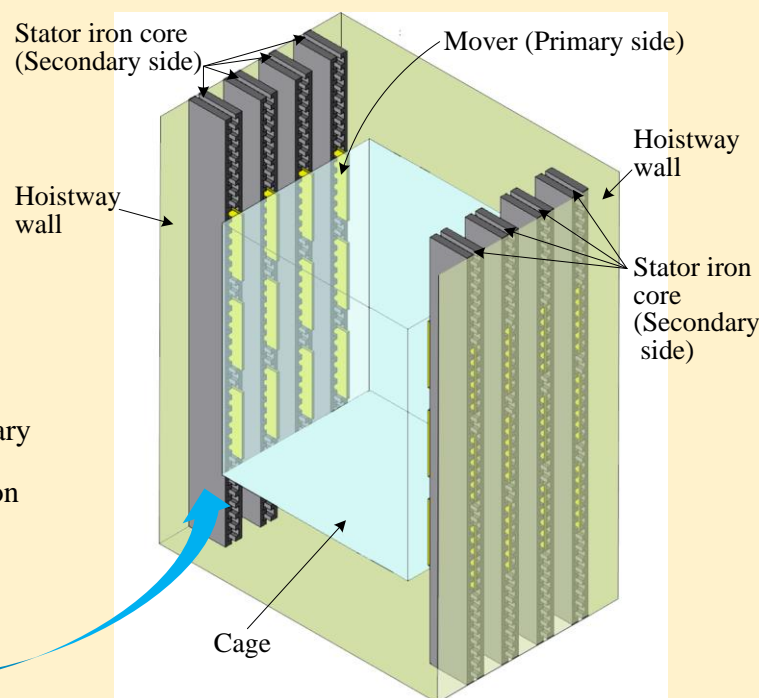
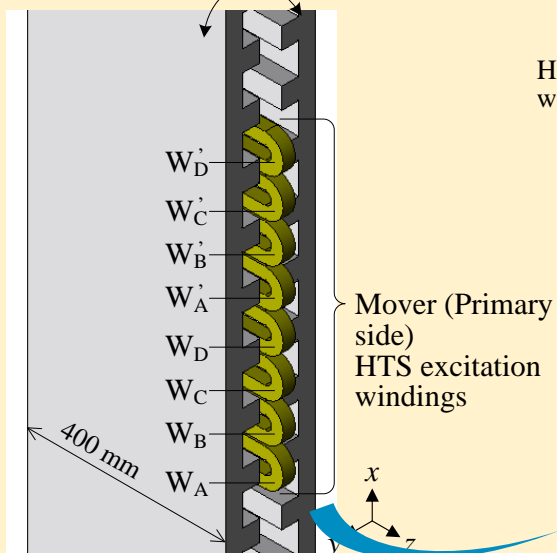
ロープレスエレベータ用高温超伝導リニアモータの開発に関する研究

リニアスイッチトリラクタンスモータ (LSRM) に高温超伝導コイルを使用

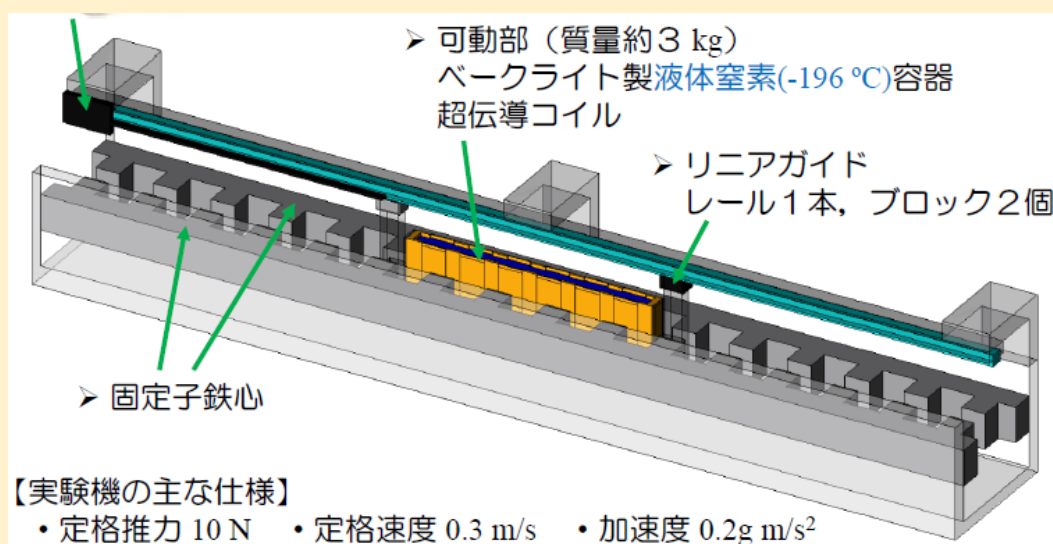
高温超伝導LSRMによるリニアエレベータのモデル図

● 高温超伝導LSRM

Stator iron core (Secondary side)



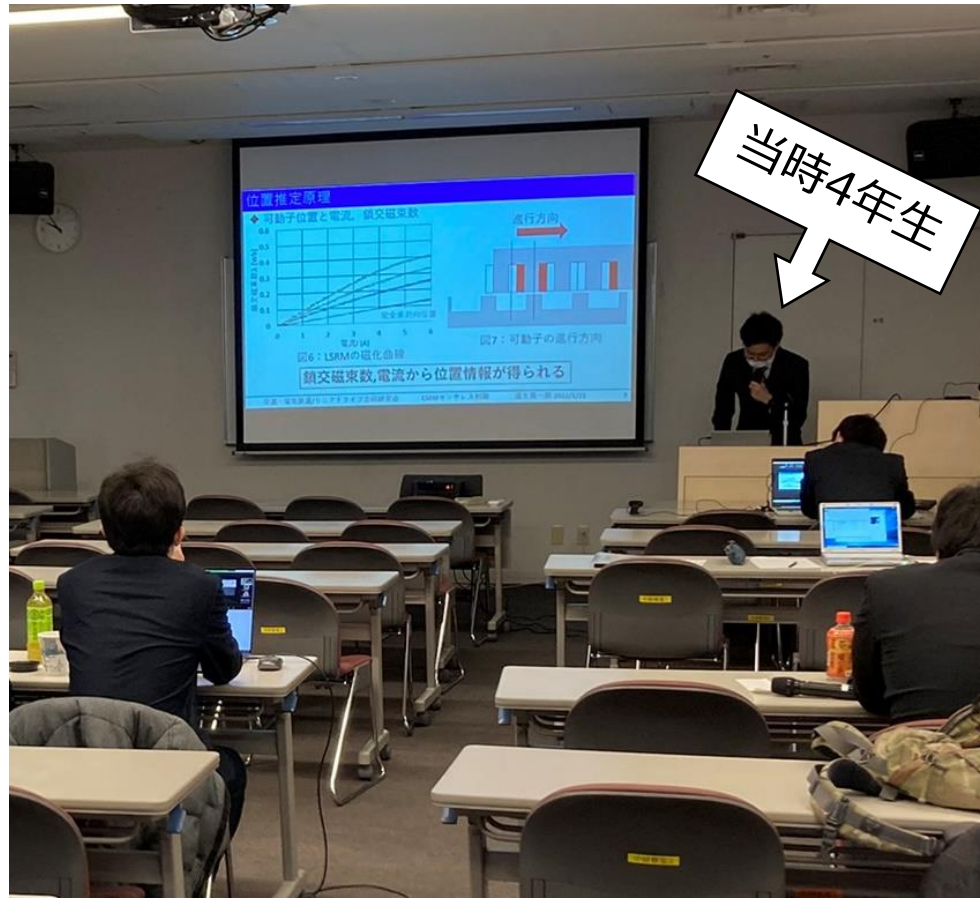
実験機的设计と作製



新しく作製した実験機で特性評価



学生による研究成果の発表




電気学会交通・電気鉄道/リニアドライブ
合同研究会, 2022年1月20, 21日
サンエールかごしま

15-1808 2021 International Conference on Electrical Machines and Systems

Simulation Considering Magnetic Saturation to Evaluate Operation Characteristics for Half-wave-rectified Self-excitation Type Linear Synchronous Motor with Multi-flux Barrier

Fuma Hayashibara Hirayama Tadashi Shuma Kawabata
Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University, Japan



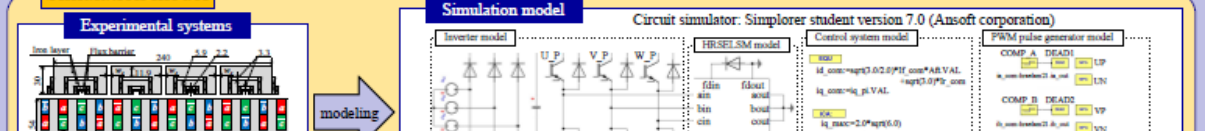
Abstract
This paper presents a simulation model of a half-wave-rectified self-excitation type linear synchronous motor without using circuit simulator. Next, we confirm the usefulness of the simulation model. Furthermore, we simulate the operation characteristics using the new built simulation model.

Introduction
Linear transport systems in industry application
Needs: high acceleration and deceleration, high speed, high positioning accuracy
⇒ Permanent magnet type linear synchronous motor (PMLSM) is mainly used
However...
➢ Hinder of cost reduction by permanent magnet
➢ Copper loss caused by a d-axis current at a field weakening operation

Half-wave-rectified self-excitation type linear synchronous motor (HRSELSM)
Merits:
➢ Variable flux, permanent magnet less, simple and robust structure
➢ Easy to apply a field weakening operation
To put into practical use the HRSELSM, it is important to clarify the operation characteristics that are difficult to measure by experiments
In this study, we build the new simulation model considering magnetic saturation using the circuit simulator and clarify the operation characteristics of the HRSELSM with a multi-flux barrier mover including the inverter system.

Principle of self-excitation and thrust generation
dq-axis model
Fig. 1 dq-axis model.
➢ dq-axis currents
 $i_d = \sqrt{\frac{3}{2}} A_f(t) + \sqrt{3} I_f$
 $i_q = \sqrt{3} I_f$
 $I = \sqrt{I_d^2 + \frac{1}{2} I_f^2 + I_f^2}$
➢ Flux linkages
 $\lambda_d = L_d i_d + M_{fd} i_f$
 $\lambda_q = L_q i_q$
 $\lambda_{fd} = M_{fd} i_d + L_{fd} i_f$
 $A_f(t)$: triangular wave (effective value of I_f , bias angular frequency ω_s)
 I_f : d-axis direct current component
 I_f : thrust current component
➢ Average thrust
 $F_{avg} = \frac{\pi}{\tau} \left[3\sqrt{6} \alpha_1 I_{f0} (1-\sigma) L_d I_f I_f \left[\frac{1}{\pi} - \frac{\alpha_1 I_{f0}}{2\pi^2} \ln \left(2e^{\frac{\pi}{\alpha_1 I_{f0}}} - 1 \right) \right] + 3(L_d - L_q) I_f I_f \right]$

Simulation model
Experimental systems
modeling
Simulation model
Circuit simulator: Simplorer student version 7.0 (Autsoft corporation)



電気機器とシステムに関する国際会議
(ICEMS2021), 2021年10月31日~11月3日
韓国現地とオンラインのハイブリッド開催



高速リニア搬送システム用可変界磁リニアモータの開発に関する研究

受賞

- 2020年IEEE福岡支部学生研究奨励賞 (M1, R2年, IEEE福岡支部)
- 電気学会優秀論文発表賞 (M1, R2年, 電気・情報関係学会九州支部連合大会)
- 電気学会産業応用部門優秀論文発表賞 (M1, R2年, リニアドライブ研究会) など

就職

- JFEプラントエンジニア (M2, R3年度)

リニアスイッチトリラクタン্সモータに関する研究

受賞

- YPC優秀発表賞 (M2, R元年, 電気学会産業応用部門大会)
- 学長表彰 (M2, H29年, 鹿児島大学)
- YPC優秀発表賞 (M2, H28年, 電気学会産業応用部門大会)
- IEEE IAS Young Engineer Competition Award (M2, H28年, IEEE IAS Japan Chapter) など

就職

- スズキ (M2, R元年度), 日立製作所 (M2, H30年度), テラプローブ (B4, H30年度), アイシン・エイ・ダブリュ (M2, H28年度), 富士電機 (M2, H27年度), 佐世保重工業 (B4, H27年度) など

学生の皆さんは貴重な人材です。
学生が主役になって教員と一緒に
活躍できる研究ができればと
思っています。

高温超伝導リニアスイッチトリラクタン্সモータに関する研究

受賞

- 電気学会産業応用部門優秀論文発表賞 (M2, R2年, リニアドライブ研究会)

就職

- 三菱重工業 (M2, R元年度), ファナック (M2, H27年度), 日本軽金属 (M2, H26年度) など

