

# 大出力/分散制御型ロボット におけるシステム要件

稲葉 雅幸(東大)

慶應大学 山崎チーム

# 研究目標・背景

## ディペンダブルでスケラブルな組込み用超小型VLSIシステムを実現するための基盤技術

- アプリケーション(ロボット、宇宙機等)のVLSIシステムへの要求
  - ディペンダビリティ(信頼性、可用性、安全性等)の確保
  - 要求仕様(リアルタイム性、演算量、通信量、消費電力、サイズ等)はどのようなものか



ロボットの社会進出には、不意の転倒、事故への対処が課題

国のプロジェクトにおいてロボットの安全認証のための研究がなされつつある

# 東大 情報システム工学研究室



片付け・掃除

食器片付け

統合ヒューマノイドプラットフォーム



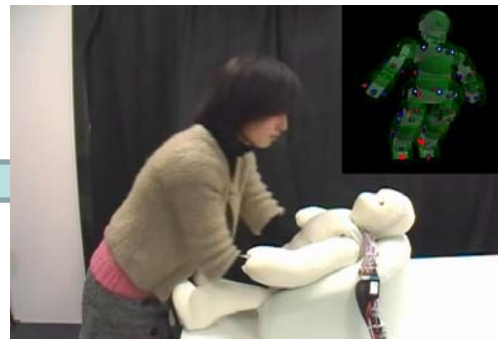
パーソナルモビリティ



見守り



すばやさ・瞬発力・ドライバ



皮膚・分布触覚



筋肉・骨格・体内分散

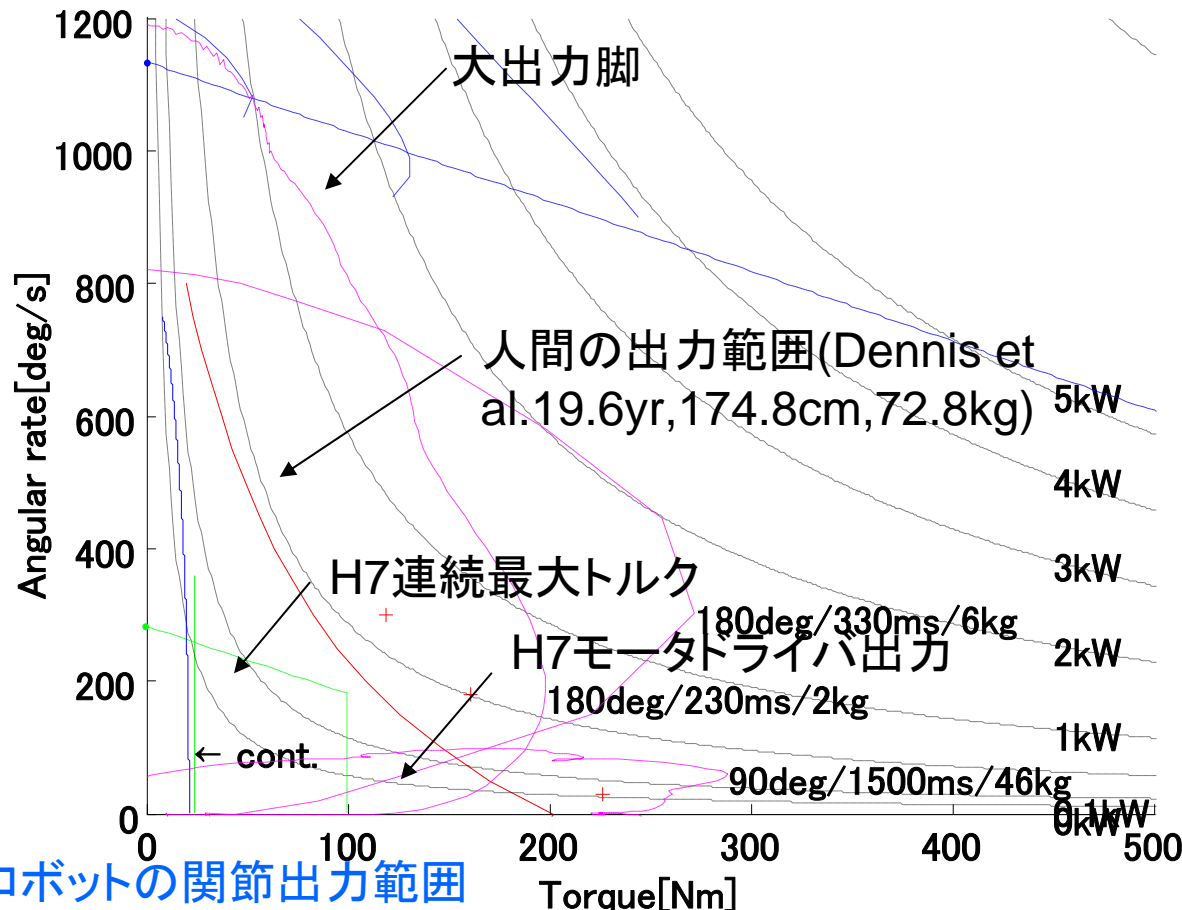
# 大出力ロボットの出力要件

- 人間の筋力と同等以上を目指す

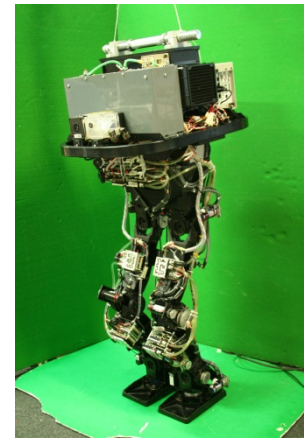
- 下半身12自由度
- モータ温度制御による大出力動作
  - 瞬間 80[V] 200[A]の大電流



水冷モータドライバモジュール  
(85x60x34mm)



H7



大出力脚

人間とロボットの関節出力範囲

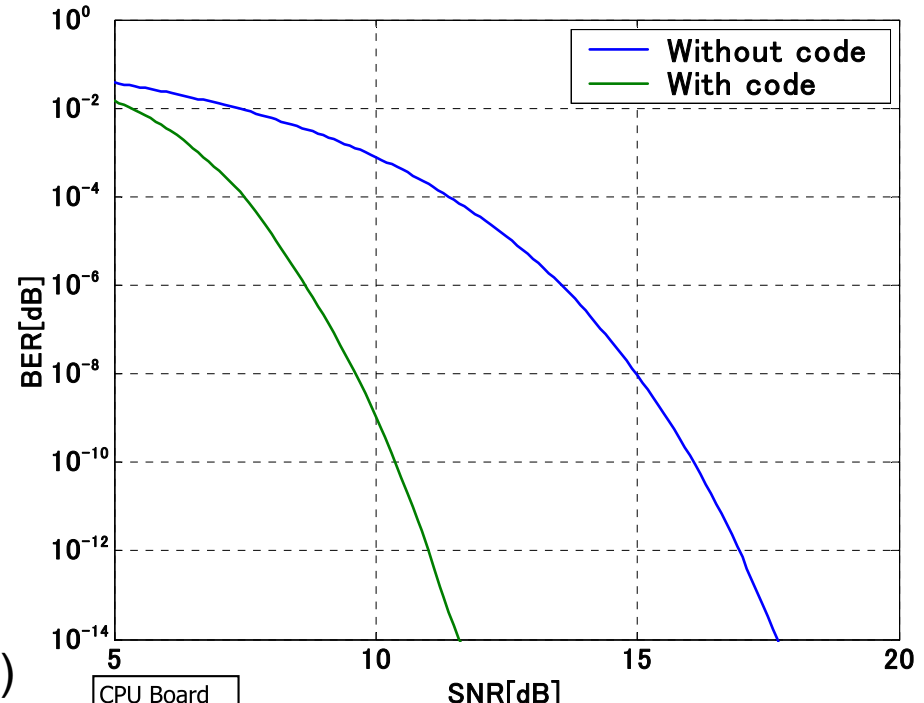
# 大出力ロボットでの通信要件例

## ● 体内ネットワーク

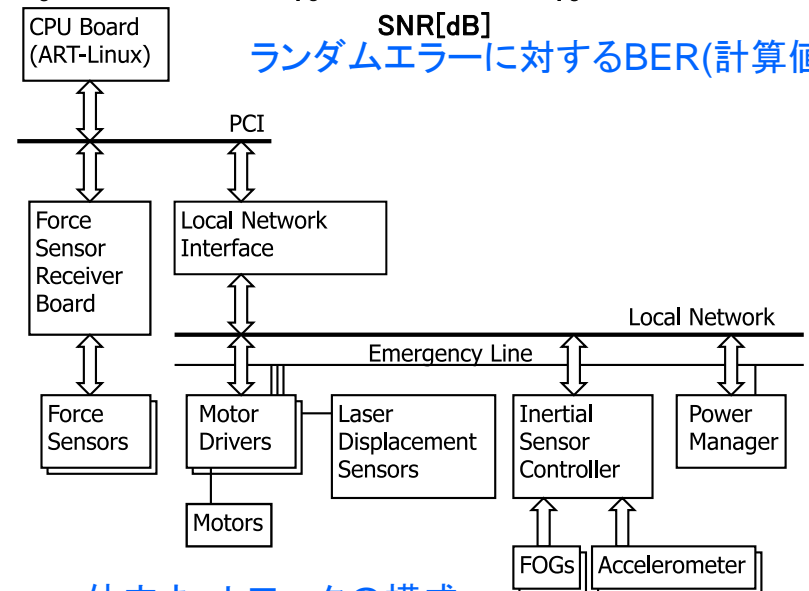
- 高ノイズ環境下で確実に通信可能
- 十分な通信帯域を確保
  - 必要帯域: 全身合計1.3Mbps
  - 通信周期1kHz
    - 1周期あたり
    - モータ12byte\*12軸
    - + 慣性センサ(加速度3
    - + ジャイロ3+地磁気3)18byte

## ● 通信系仕様

- エラー訂正符号
  - RS符号(n=12,k=8,シンボル長8bit)
  - シンボル単位のパリティ(8bit→10bit)
- データ32bit+ヘッダ32bit→120bit
- 実効データ転送速度: 約7Mbps
  - ビットレート26.7Mbps
- 電気仕様
  - RS422
  - ポイントツーポイント
- 全身で複数チャンネルを使用
  - 7Mbps x 4ch
  - 7Mbps/脚1本



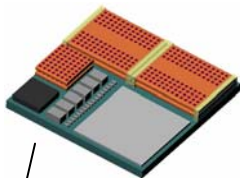
ランダムエラーに対するBER(計算値)



体内ネットワークの構成

# 高密度組込分散制御型ロボットへのディペンダビリティ要件

## – 高効率高機能かつ小型な駆動基板実装



D-RTMPiI(20mm角)

駆動基板H8-15D

- 2軸駆動 40WACモータ
- 連続 6[A], 15秒 20[A]

制御コアH8S2215(10mm角)  
CPLD(7mm角)  
XC9572XL-10CSG48I

### • 小次郎搭載基板

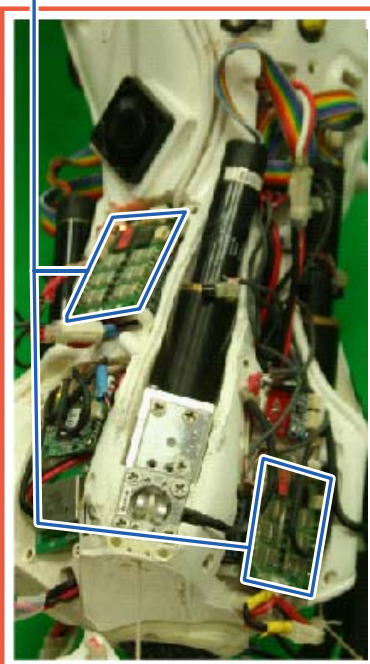
- 36x46mm, 40WACモータ2軸駆動、連続6A,48V
- 制御コア: 10mm角H8によりモータをローカルに制御
  - » Renesas H8S/2215(組込OS(itron), 16MHz,256KB flash)
- 体内に55枚搭載(109本のモータ用)

### • 制御コアを高機能超小型RMTP SiP 20mm角へ置換

- PID制御, モータ温度推定(1msecから10 $\mu$ secへ)
- 制御周期向上に伴う柔軟性動作
- 対外PCの不要化による通信断絶への耐性向上

## – 高信頼かつ高速な通信

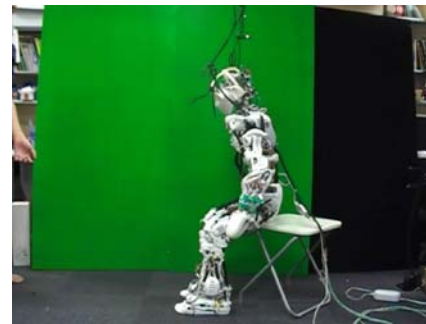
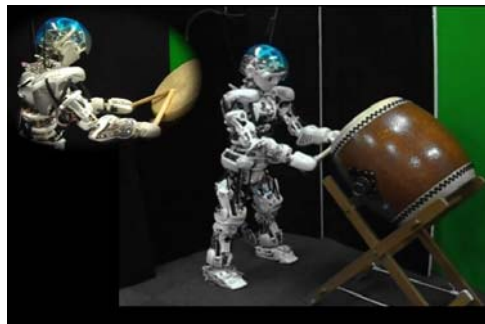
- 大規模分散系の劣悪環境下での通信信頼性検証
  - 1軸24V20A x 100筋の高負荷環境、温度環境
  - 全身の複雑雑多な通信経路環境
- 現状 約7Mbps (USB1.1, FullSpeed)
  - 1軸当たり64Byte, 110軸, 8msec周期
  - より高速な通信にして、1msec周期へ



小次郎 脚部



- 超多自由度 82 DOFs
- 冗長駆動筋 109本
- 分散制御系 60デバイス



# 多様な環境・機能化での運用評価検証プロセスを通して 熱・ノイズ・実時間性・出力・通信ディペンダビリティ定量化へ

初年度

2年度

3年度

4年度

5, 6年度

HRP2ハンド, 頭部での開発ドライバの通常出力時の動作検証

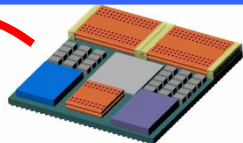
大出力検証  
環境の準備



単軸での大出力検証環境構築・評価

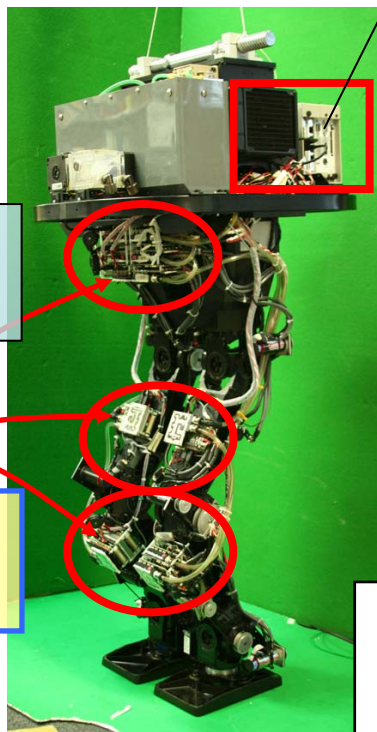


高速制御リアルタイム性の検証評価TPI(30mm角)

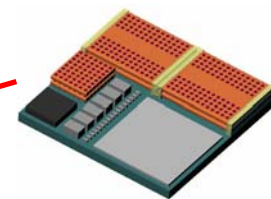
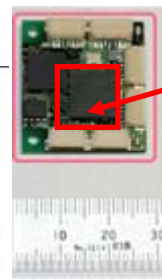
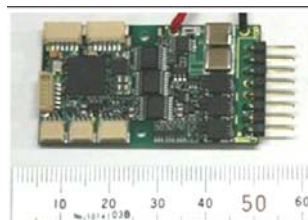
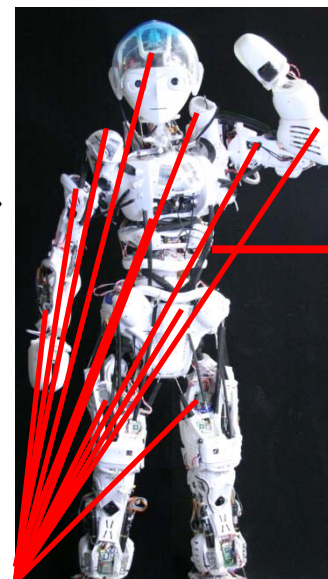


DRMTPI搭載大出力モータドライバ

- 大出力脚全身12自由度での開発ドライバの大出力時の動作検証
- RMTP計算資源による体内搭載制御PCの不要化



- 筋骨格ヒューマノイド小次郎での開発小型ドライバの分散配置(60個)時の動作検証
- RMTP計算資源による体外大型制御サーバの不要化



小型SiP D-RTMP II(20mm角)

D-RMTPIII搭載小型分散モータドライバ(駆動部・制御部分離)