



# 分散リアルタイム処理用プロセッサ

## Responsive Multithreaded Processor (RMTP)

### D-RMTP (Dependable Responsive Multithreaded Processor)

ハードウェアによるリアルタイム処理/通信(演算処理時間及び通信時間の保証)

リアルタイム処理/通信: 時間制約(デッドラインや周期)を優先度に変換し, 優先度に基づいてプリエンプションを行いながら処理/通信  
ヒューマノイド型ロボットの分散リアルタイム処理に必要な機能を1チップに集積したSoC (System-on-Chip):

TSMC 0.13 μm CMOS 8層Cu配線, 10mm角

低消費電力機構: IPブロック単位の動的電圧周波数制御機構 (DVFS), 低消費電力セル (HighVt) と高性能セル (LowVt) を用いた複合設計  
演算性能: Scalar Integer: 400MIPS ~ 8bit Vector Integer: 12.8GIPS, 消費電力: 0.1~1W

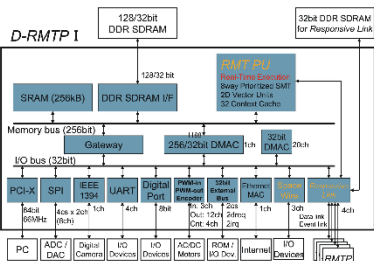
#### 1) リアルタイム処理用マルチスレッドプロセッサ: RMT PU (Processing Unit)

ハードウェアでリアルタイム処理をサポートするためにプリエンプション(コンテキストスイッチ)をRMT実行(優先度付きSMT実行)に変換して実行. 8スレッド同時実行256レベル優先度付きSMT, IPC制御機構, 32エントリコンテキストキャッシュ, 割り込みによるスレッドの起動, 2Dベクトル演算

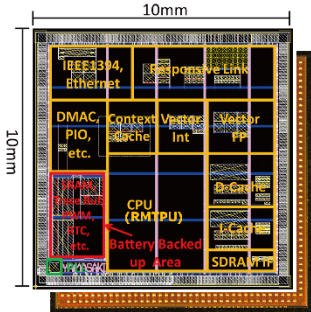
#### 2) リアルタイム通信: Responsive Link

#### 3) コンピュータ用I/O: PCI-X, IEEE1394a, Ethernet(MAC), SpaceWire(3ch), DDR SDRAM I/Fs(128/32bit), 32/256bit DMAC, RS-232C(4ch)など

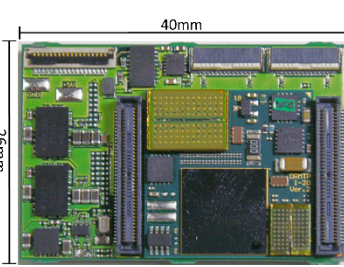
#### 4) 制御用I/O: PWM output x 12, PWM input x 3, Pulse Counter x 4, SPI (4cs x 2ch), Digital I/O portなど



D-RMTP I SoCのブロック図



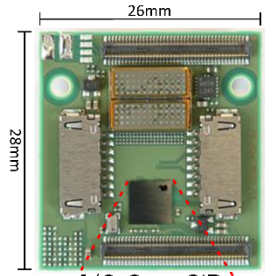
D-RMTP I のレイアウト



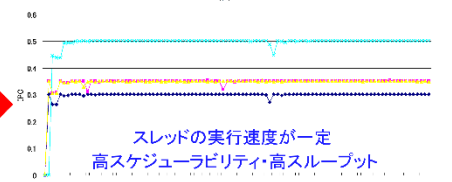
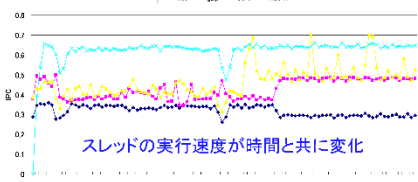
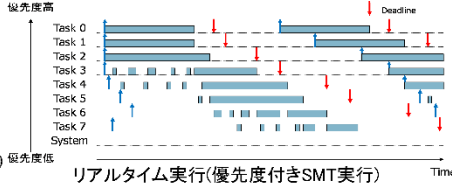
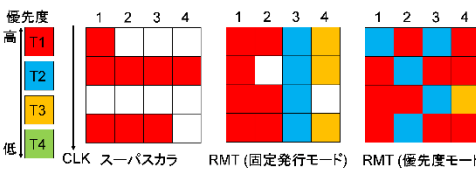
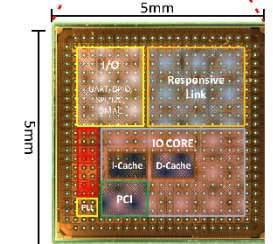
20mm角D-RMTP I 汎用制御基板

### I/O 制御用プロセッサ I/O Core (簡易版)

- Flower Core (RMT PU互換シングルプロセッサ)
- Responsive Link

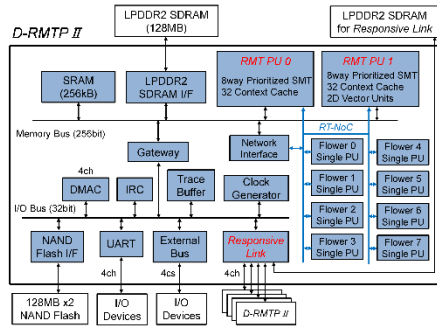


I/O Core SiP

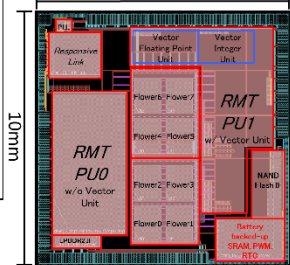


### 並列分散リアルタイム処理用マルチコアプロセッサ D-RMTP II (高性能版)

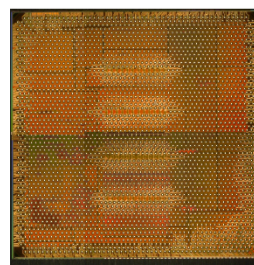
- ヘテロジニアス・マルチスレッド・マルチコア・プロセッサ
- 大 (RMT PU w/ vector) x1, 中 (RMT PU w/o vector) x1, 小 (Flower) x8
- 3次元RT-NoC: チップ内コアの接続, チップ間接続用バンド
- 製造プロセス: TSMC 65nm
- 8系統の電源ドメイン, 20系統の周波数ドメイン



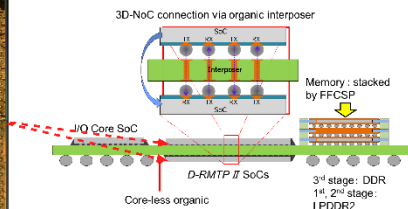
D-RMTP II SoCのブロック図



D-RMTP II SoC レイアウト



D-RMTP II SoC チップ写真



D-RMTP II SiP



# リアルタイム通信規格 *Responsive Link*

## 通信遅延を保証するリアルタイム通信

### パケットの追い越しを実現したリアルタイム通信規格

#### リアルタイム通信

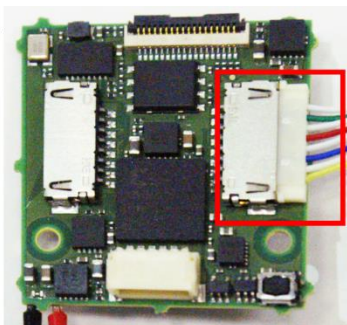
- End-to-Endの通信遅延を保証し、時間制約を満たす

#### 通信遅延の保証

- 時間制約を優先度に変換
- リアルタイムスケジューリングアルゴリズムの応用
- ⇒ **タスクのプリエンプションに相当する機能**

#### 通信におけるプリエンプション

- 優先度によるパケットの追い越し



Responsive Link I/F

### 1. 優先度によるパケットの追い越し

- 通信におけるプリエンプションを実現
  - 高優先度パケットは低優先度パケットを追い越し可能
- パケットの優先度を通信ノード毎に付け替え可能
  - パケットの追い越しを分散管理型で制御可能

### 2. データ通信とイベント通信の分離

- 固定パケットサイズ
  - データ通信: 64B
  - イベント通信: 16B
- ソフトリアルタイム(バンド幅保証) : 高スループット
- ハードリアルタイム(レイテンシ保証): 低遅延

リアルタイム通信におけるトレードオフ

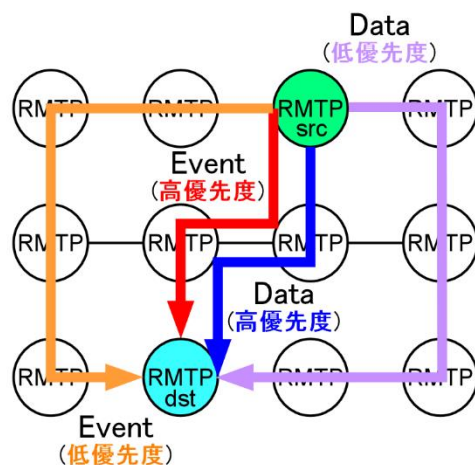
パケットサイズ	大	小
スループット	大	小
レイテンシ	大	小



データリンクとイベントリンクの分離

### 3. 柔軟なルーティング

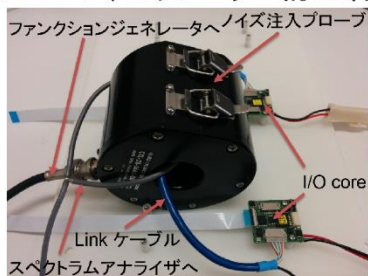
- データとイベントの独立したルーティング
- 全く同じネットワークアドレスを持つパケットの経路を優先度によって別々に設定可能
- トポロジーフリー
- Point-to-Point
- 分散管理型



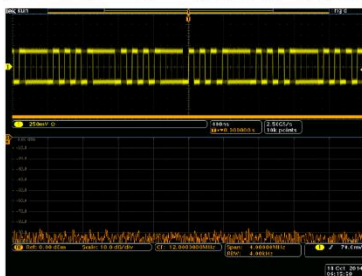
Responsive Linkのルーティング

### 4. 様々なコーデックの使用

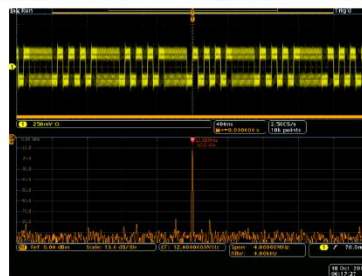
- ラインコード: Bitstuffing + NRZI, 8b10b, **4b10b** (1bitエラー訂正)
- ビットエラー訂正符号: Hamming (1bitエラー訂正) (8bit, 12bit), BCH (2bitエラー訂正) (8bit, 16bit)
- ブロックエラー訂正符号: Reed-Solomon (1byteエラー訂正) (4byte, 6byte)
- ラインコード、ビットエラー訂正符号、ブロックエラー訂正符号を通信環境に合わせて動的に選択可能



ノイズ耐性実験(Bitstuffing + NRZI)



ノイズなし: 0[V], 0[dBm]



可動最大ノイズ: 14[V], +17.5[dBm]



# D-RMTPとResponsive Linkの分散制御の応用例

## ロボット等のあらゆる分散制御を実現可能

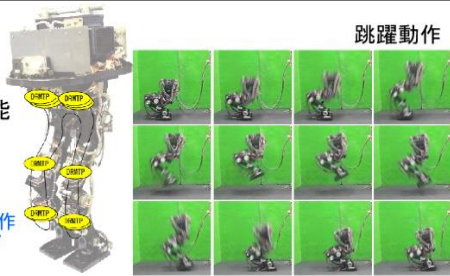
### 東京大学 稲葉研との共同研究

#### 大出力高負荷環境下

- ・高速・低遅延通信時のリアルタイム性
- ・通信/制御の信頼性(ノイズ、熱耐性)
- ・高速制御タスクの演算性能

東京大学JSK  
大出力脚HRP3L-JSK

下半身12自由度  
モータ温度制御による大出力動作  
人間の筋力と同等以上を目指す

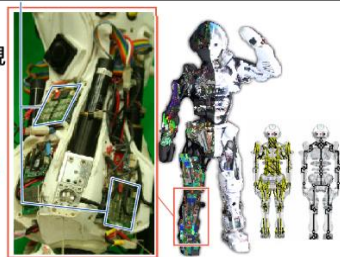


#### 大規模分散小型環境下

- ・分散大規模通信リアルタイム性
- ・小型基板搭載可能コア技術の実現
- ・複雑通信経路での信頼性
- ・制御時RT-DVFSによる低電力化

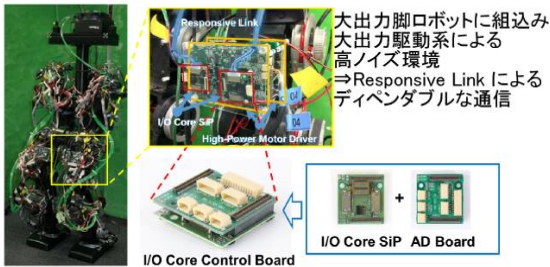
東京大学JSK  
超多自由度筋骨格ヒューマノイド 小次郎

自由度数 82DOFs  
駆動筋数 109本  
分散制御系 60デバイス



### Responsive Link によるロボット体内通信

- ・I/O Core SiP により容易に RS-485 から Responsive Link へ置換え可能

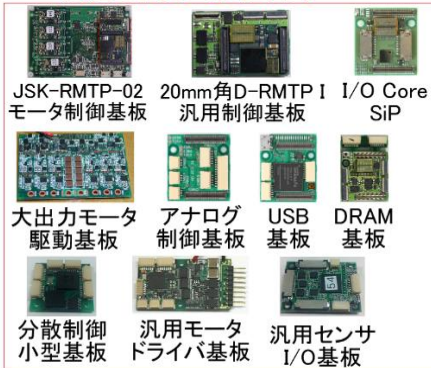


大出力脚ロボットへの Responsive Link の適用

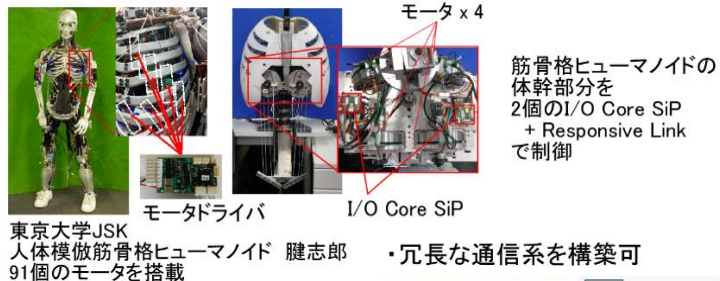
- ・共通コネクタによりドッキングすればより高速通信が可能

I/O Core SiP の他に D-RMTP I を搭載した 20mm角 D-RMTP I 汎用基板モジュールともドッキング可能

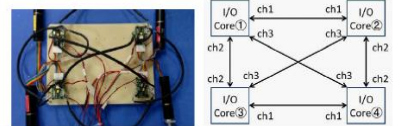
共通コネクタでドッキング



- ・多ノード密集配置でも小型であるため組み込みが容易



- ・冗長な通信系を構築可

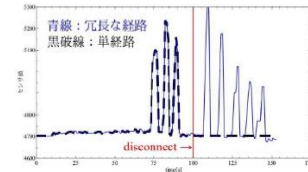
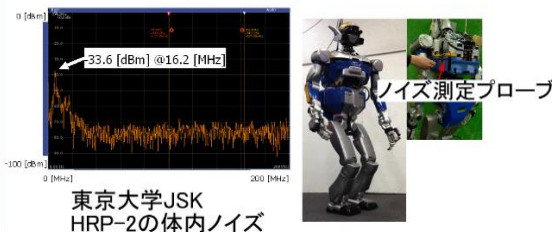


冗長経路を構成してのモータ制御

- \*フリーポートロー
- \*1ノードにつき4つの Responsive Link ポート
- \*一部経路が切断しても制御を続行可

- ・ロボット体内のノイズ環境が Responsive Link のノイズ耐性限界以下が評価

Responsive Link は +18 dBm @ 12 MHzのノイズ耐性  
⇒ ロボット分散制御の通信系として十分なマージン



冗長経路ではセンサ値を取得し続けている

研究者名

情報工学科 教授 山崎 信行

お問合せ先

contact@ny.ics.keio.ac.jp  
http://www.ny.ics.keio.ac.jp

Keio University