

## 業績

### 福永力（及び計算システム研究グループ）

#### 1. 研究の概要

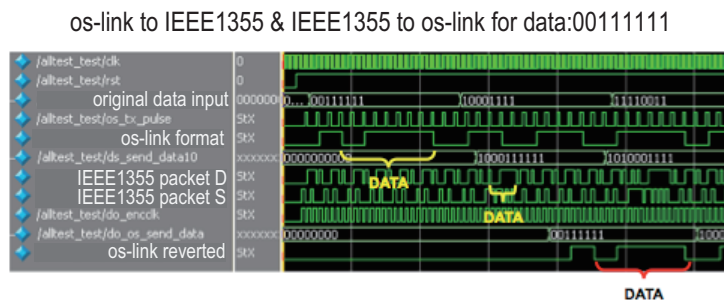
##### はじめに

福永の所属する研究グループは個人でというよりグループでの共同研究を第一義に考えている。グループの構成は大学院学生、正規の認定手続きを経た研究員および教員である。したがって本稿に載せた活動記録・業績は個人によるものというより、筆者の所属する計算システムグループ（研究室）によってなされたものであることをまずはじめにお断りしておく。また当グループは国内外でさまざまな共同研究を行っている。グループ活動の報告とともに業績にはそれらの共同研究での成果も加えている。

##### 並列処理システムの構築

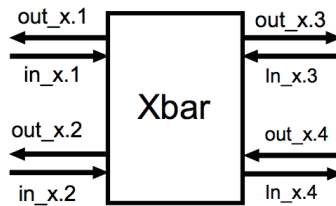
前年次報告に記した並列処理プロセッサ TPCORE を用いたシステム構築を行っている。TPCORE とは Transputer (Inmos;T400) と同じインストラクションセット、リンクインターフェース（4 個）を持つ IP core である。当グループが 2003、2004 年に開発した core である。現在この core をもとに以下の研究を進展させている；

- いわゆる TPCORE II の開発 = 強力並列処理プロセッサの作成
- TPCORE+DS-Link(IEEE1355 プロトコル) +Router (開発中) によるネットワークの作成とそのシリコンチップ上への展開；MultiCore → Network on Chip；NoC の研究開発。  
以下の図にパルスシーケンスチャート（図はある 1 基の TPCORE からのデータ 1 バイトを IEEE1355 ネットワークに送信し、ルータ（開発中）を通して別の TPCORE に受信させているところを示している。TPCORE は 24MHz の動作周波数をもっている。しかしネットワークのバンド幅は 48MHz である。各 TPCORE は送信・受信時にプロトコル変換を施してやらなければならない。この IEEE1355 ネットワークで 32 バイトのデータを送るのに全部で 606 ビット必要である。上記のシーケンスチャートより実測ではこの時間が 12.616 $\mu$ s であった。これは設計理論値の 12.625 $\mu$ s と一致している。



- 上記 NoC で動作するソフトウェアコンテンツの開発
- 上記 NoC のハードウェアエレメントとしての応用（自動車、宇宙；SpaceWire2008（於奈良）IEEE1355 利用の TPCORE ネットワークの公表、次節参照）
- CSP（Communication Sequential Processes）のハードウェア設計への応用、新応用分野の開拓、CSP を使った検証システムの開発

以下の図に示した例は現在開発中のルータに組み込む予定のクロスバースイッチの CSP 記述の例である。このクロスバーは 32 個の入出力ポートを持っているがモデル計算では 4 ポートクロスバーとして実現している。これは CSP 設計検証ツールのソフトウェアが非常に多くの資源を使用するためである。



このクロスバーを以下のように CSP で記述する。

$$xbar(in, out) = \parallel_{i \in Tag} INOUT(i, in, out), \quad (1)$$

ここで

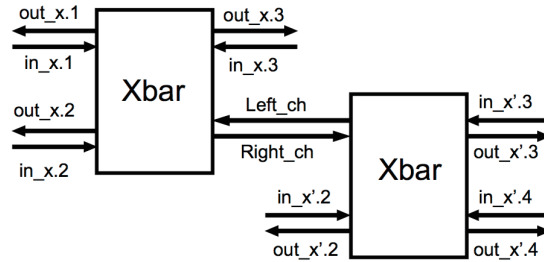
$$INOUT(i, in, out) = in.i?packet \rightarrow out.head(packet)!tail(packet) \rightarrow INOUT(i, in, out) \quad (2)$$

そしてこれを

$$SYSTEM = xbar(in\_x, out\_x), \quad (3)$$

として検証ツールに組み込みデッドロック、ライブロックなどの並列システム固有の設計上のミスの有無を確かめる。またシステムの拡張として図のようにクロスバーのカスケード接続は式 (3) を拡張して 2 つの  $xbar$  が並列動作するように以下のように記述できる。次式の  $\parallel [Left\_ch, right\_ch]$  は 2 つの並列オブジェクト（ともに  $xbar$ ）が互いにデータ交換する際の連絡チャンネルを意味している；

$$SYSTEM = xbar(in\_x, out\_x) \parallel [Left\_ch, Right\_ch] xbar(in\_x', out\_x') \quad (4)$$



また式 (2) からあるポートから他のすべてのポートへ一斉通報ができるようにするには例えば以下のように変形してやればよい。一斉通報はあるポートへの入力パケットのヘッダ内宛先アドレスが0であれば起きるようにしてある；

$$\begin{aligned}
 INOUT \quad (i, in, out) = in.i?packet \rightarrow \\
 \quad \text{if} \quad head(packet) == 0 \text{ then} \\
 \quad \quad \parallel_{j \in Tag \setminus \{i\}} out.j!tail(packet) \rightarrow Skip; INOUT(i, in, out) \\
 \quad \text{else} \\
 \quad \quad out.head(packet)!tail(packet) \rightarrow INOUT(i, in, out), \tag{5}
 \end{aligned}$$

ここで *Skip* はプロセスの安全終了を意味している。

このようにしてハードウェアの設計をプロセス代数をもとにした形式手法を用いて行うことが出来る。並列処理システムなどの（ハードウェア、ソフトウェア）実装後のデバッグが著しく困難なシステムにはこのような形式手法がとりわけ優れているものといえる。

### 素粒子物理学実験における計算機応用の支援

探求する粒子の質量（エネルギー）の値が大きくなるとともに素粒子実験は規模が拡大し、実験装置の複雑化、実験参加人数の増加など他の実験科学の研究形態とは大いに異なる様相を呈するにいたった。素粒子の飛跡やエネルギーを観察する観測装置の設計・製作、維持はもはや実験に参加する物理学者のみでは不可能になってきている。さまざまな分野の研究開発支援を受けざるを得なくなっている。

当研究グループも測定システムのハードウェア/ソフトウェア構築に積極的に参加しさまざまな開発研究を行っている。我々はスイス、ジュネーブにある国際原子核合同研究機構 CERN 内に発足された ATLAS 共同研究において、陽子・陽子衝突で生じる多数の粒子からある特定の粒子を効率よく識別するレベル1ハードウェアトリガーシステムの開発を担当した。VLSI (ASIC)、読み出し回路の開発、さらにそれらをシステムの一部として利用する実時間処理システムソフトウェアの開発などを行ってきた。今後もこれらの大規模実験が円滑に効率よく行われるべく積極的にIT技術のサポートを行っていく予定である。

## 2. 論文・著書・プレプリント

論文（ここでは掲載の決定はされているが未出版あるいは印刷中のものは除いてあります）

- D.Berge et al. “The ATLAS Level-1 Trigger: Status of the System and First Results from Cosmic-Ray Data”, Nucl.Instrum.Meth. **A582**:476-481,2007
- T.Kubota et al. “Final Test at Surface of the ATLAS Endcap Muon Trigger Chamber Electronics”, Proceedings of 13th Topical Workshop on Electronics for Particle Physics (TWEPP2007) at Prague, Czech, 03-07 Sep 2007:463-467
- T.Sugimoto et al. ”The First Result of Global Commissioning of the ATLAS Endcap Muon Trigger System in ATLAS Cavern”, Proceedings of 13th Topical Workshop on Electronics for Particle Physics (TWEPP2007) at Prague, Czech, 03-07 Sep 2007:199-202
- C.Adorisio et al. ”System Test of the ATLAS Muon Spectrometer in the H8 Beam at the CERN SPS”, Nucl.Instrum.Meth. **A593**:232-254,2008

#### 電子ジャーナル出版

- G.Aad et al., The ATLAS Experiment at the CERN Large Hadron Collider JINST 3 S08003 (Journal of Instrumentation- Electronic Journal of Institute of Physics )  
<http://www.iop.org/EJ/abstract/1748-0221/3/08/S08003/>

#### プレプリント

- G.Aielli et al., “Status of the ATLAS Level-1 Central Trigger and Muon Barrel Trigger and First Results from Cosmic-Ray Data”,  
ATL-DAQ-CONF-2007-010; CERN-ATL-DAQ-CONF-2007-010;  
ATL-COM-DAQ-2007-012 CERN 23 May 2007
- M.Abolins et al., ”The ATLAS Trigger - Commissioning with cosmic rays”,  
ATL-DAQ-CONF-2007-024; ATL-COM-DAQ-2007-029  
CERN 19 September 2007
- R.Goncalo et al., “The ATLAS trigger - high-level trigger commissioning and operation during early data taking”,  
ATL-DAQ-CONF-2007-032; ATL-COM-DAQ-2007-039  
CERN 17 October 2007
- C. Adorisio et al., ”Study of the ATLAS MDT Spectrometer using High Energy CERN combined Test beam Data”,  
ATL-MUON-PUB-2008-005 CERN 08 April 2008

#### 3. 講演・集中講義・海外渡航

講演 (講演者は別だが著者として当グループのメンバーが含まれているものを含みます)  
日本物理学会 2007年春季大会 (2007年3月 首都大学東京 (八王子))

- 久保田隆至他、「ATLAS 前後方ミュオントリガーチェンバーの読み出し回路試験」
- 門坂拓哉他、「宇宙線を用いた ATLAS TGC セクター検査」

日本物理学会 第 62 回年次大会 (2007 年 9 月 北海道大学)

- 越智敦彦他、「ATLAS TGC システムのインストレーション報告」
- 高橋悠太他、「ATLAS 前後方ミュオン粒子トリガー検出器の地上動作試験の最終報告」
- 奥村恭幸他、「ATLAS 実験ホールにおける Thin Gap Chamber DAQ システムの構築」

日本物理学会 第 63 回年次大会 (2007 年 3 月 近畿大学 (大阪))

- 平山翔他、「ATLAS 前後方ミュオントリガー Small Wheel の総合試験」
- 高橋悠太他、「ATLAS 実験ホールにおける  $\mu$  粒子検出器統合試運転」
- 中塚洋輝他、「ATLAS 前後方ミュオン・トリガー・セクター・ロジックの宇宙線を用いた動作検証」
- 早川俊他、「ATLAS Muon LVL1 Trigger における Sector Logic の実装」

日本物理学会 2008 年秋季大会 (2008 年 9 月 近畿大学 (大阪))

- 松下崇他、「ATLAS 前後方ミュオントリガー検出器用オンラインシステム」
- 杉本拓也他、「ATLAS 前後方ミュオン粒子レベル 1 トリガーシステム—全システム稼動に向けて—」
- 長谷川慧他、「ATLAS 実験 TGC 検出器の試運転総括」
- 金賀史彦他、「ATLAS 検出器の総合試験を通じた Muon System の運転状況」

International Europhysics Conference on High Energy Physics,  
Manchester, UK, 19 - 25 Jul 2007

- R.Goncarlo, "The ATLAS trigger - high-level trigger commissioning and operation during early data taking"

International Conference on Computing in High Energy and Nuclear Physics,  
Victoria, Canada, 2 - 7 Sep 2007

- J.Boyd, "The ATLAS Trigger - Commissioning with cosmic rays"

15th IEEE Real Time Conference 2007 IEEE NPSS,  
Fermilab, Batavia, IL, USA , 29 Apr - 4 May 2007

- D.Berge, "Status of the ATLAS Level-1 Central Trigger and Muon Barrel Trigger and First Results from Cosmic-Ray Data "

TWEPP2007 Topical Workshop on Electronics for Particle Physics  
Prague, Czech, 03-07 Sep 2007

- T.Kubota et al., " Final Test at Surface of the ATLAS Endcap Muon Trigger Chamber Electronics "
- T.Sugimoto et al., " The First Result of Global Commissioning of the ATLAS Endcap Muon Trigger System in ATLAS Cavern"

TWEPP2008 Topical Workshop on Electronics for Particle Physics  
Naxos, Greece 15-19 Sep 2008

- Y.Okumura et al., "The commissioning status and results of ATLAS Level1 Endcap Muon Trigger System"

International SpaceWire Conference 2008, Nara, Japan, 4-6 November 2008

- K.Tanaka, S.Iwanami T.Yamakawa, C.Fukunaga et al.,"Proposal of CSP based Network Design and Construction"
- K.Tanaka, S.Iwanami T.Yamakawa, C.Fukunaga et al.,"The Design and Performance of SpaceWire Router-network using CSP "

上記講演論文はプロシーディングとして出版予定.

#### 海外渡航

福永 力

**2007年7-8月** スイス、ジュネーブ、CERNにて共同研究

**2007年8月** スイス、ジュネーブ、CERNにて共同研究

**2007年9月** チェコ、プラハ、国際会議出席 (TWEPP2007)

**2007年9-10月** スイス、ジュネーブ、CERNにて共同研究、チェコ、プラハ、チェコ工科大学にて打合せ

**2008年2月** スイス、ジュネーブ、CERNにて共同研究

**2008年4-5月** スイス、ジュネーブ、CERNにて共同研究

**2008年7月** スイス、ベルン、共同研究会議出席

**2008年9月** スイス、ジュネーブ、CERNにて共同研究、ギリシャ、ナクソスにて国際会議出席

**2008年10月** ドイツ、ドレスデンにて国際会議出席

**2008年11月** アメリカ、サンフランシスコ、サンノゼで海外インターンシップ入門に付添い

**2008年2月(予定)** スイス、ジュネーブ、CERNにて共同研究

田中和人(博士課程後期1年)および岩波智史(博士課程前期1年)

**2008年11月** アメリカ、サンフランシスコ、サンノゼでの大学院GPプログラム「海外インターンシップ入門」に参加

#### その他

- 2007年9月21日 URCF(超臨場感コミュニケーションフォーラム)セミナー  
福永力「マルチTPcoreによる並列コンピュータ」
- 特許出願 2007年8月「並列処理アーキテクチャおよびそれを用いた並列処理プロセッサ」  
(特願2007-211904)

#### 4. 対外活動

- 日本物理学会会員
- IEEE 会員
- IEEE-Nuclear Science Symposium 広報委員(アジア地区リエゾン)
- IEEE-Nuclear Science Symposium and Medical Image
  - NSS-MIC2008(at Dresden, Germany) Conference Committee メンバー
  - 同”Data Acquisition and Analysis Systems” コンビーナ

#### 5. その他