次世代メニーコア型スパコンのためのシステムソフトウェア

堀　敦史
システムソフトウェア技術部会 部会長（理研 AICS）
清水　正明
システムソフトウェア技術部会 副部会長（日立）

2016/12/16

- McKernel
  - 最新情報
- Processes In a Process (PIP)
  - 新しい並列実行環境の紹介


McKernel

背景

- HPCシステムの複雑化への対応
  - 並列性の増大
    - コア数とノード数
  - メモリ階層数の増大
  - 電力制約

→ 少数のコアをOS専用としても，そのオーバヘッドは無視できる（1/32コアで3パーセント）

→ スケーラブルで安定した性能の提供と新ハードウェアへの迅速な対応がカギ

- アプリケーションの複雑化
  - 新しいプログラミングモデルの導入
    - 例：In-situデータアナリティクス、ワークフロー
  - 周辺ソフトの複雑化

→ Linux API で開発されることが多いため、Linux との ABI 互換性が重要

→ 既存の膨大なツールチェインがそのまま使えることが重要

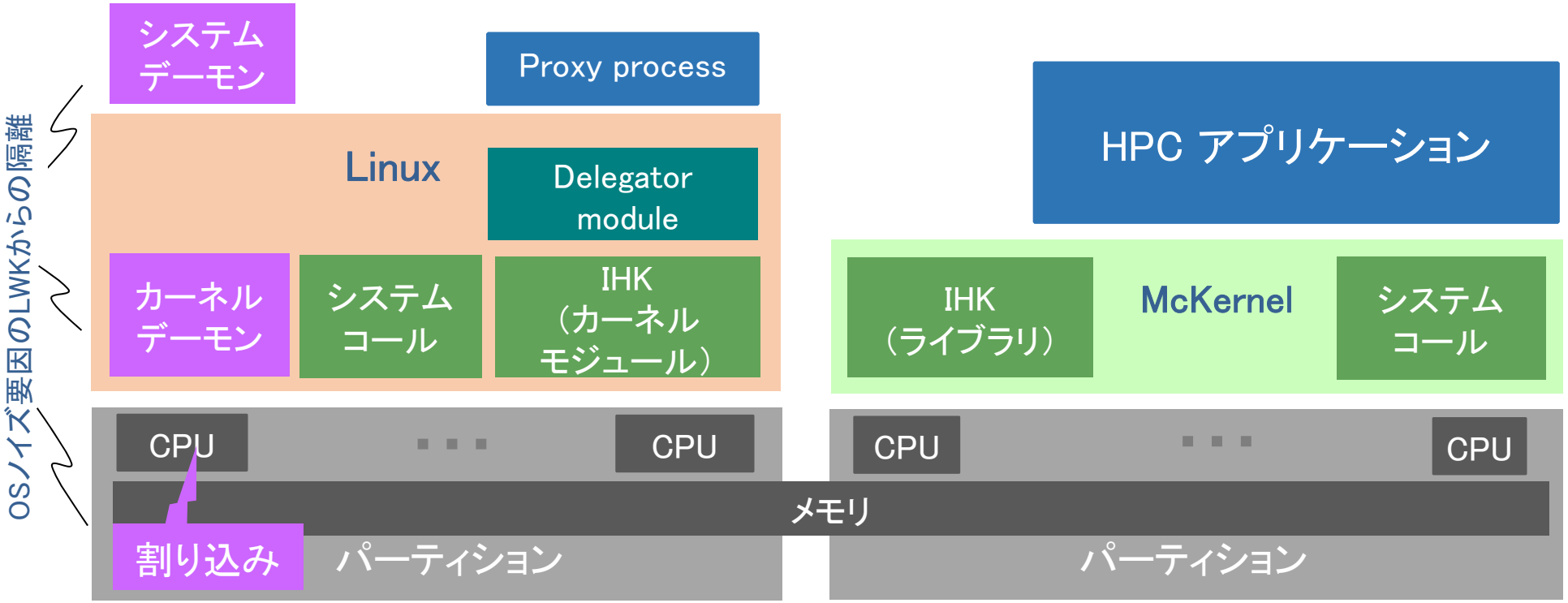
→ これらの要件を同時に満たせるか？

Linuxカーネルの問題点

- **Linux はころころ変わる**
  - 頻繁かつ大胆に変わる
    - Linux カーネルを改変し，かつ，catch-up するのは非常に大変
  - 多様なハードウェア
    - 次々に現れるデバイスハードウェア
    - デバイスドライバの作成にはH/Wの詳細な情報が不可欠
- **Linux カーネルを改造するのは非常に大変**
  - プロダクトとしては不可能に近い
- **しかしながら，言語環境，実行環境は Linux を継承したい**
  - 環境も作るのは大変
  - Linux API/ABI との互換性をどのように実現するか？

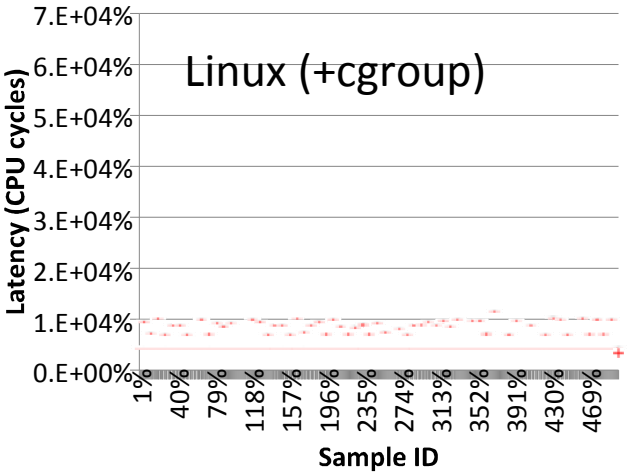
McKernel のアーキテクチャ

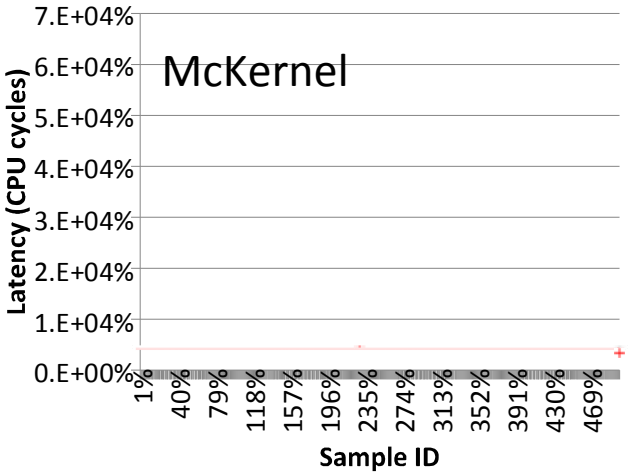
1. Interface for Heterogeneous Kernels (IHK): 複数の異種OSを持つためのフレームワーク
   - ノード資源のパーティショニング
   - LWKの管理(例:カーネルの起動、停止)
   - LWKとLinuxの間の通信機構(Inter-kernel communication, IKC)の提供
2. McKernel: スクラッチから開発されたHPC向けLWK
   - ノイズレス
   - 性能クリティカルなシステムコールのみMcKernelで動作、他はLinuxにオフロード



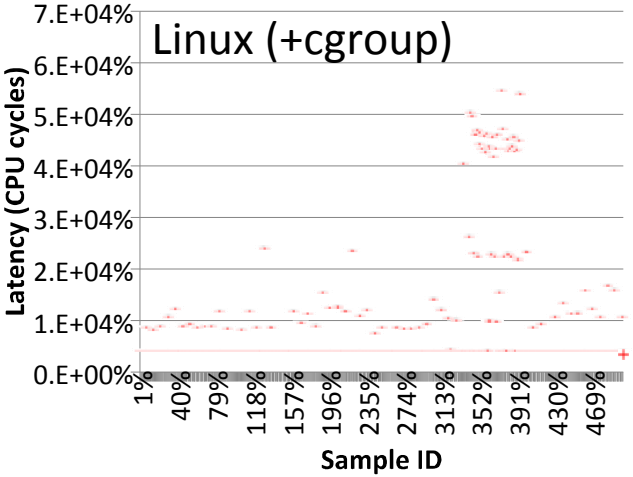
McKernelの評価 (1)

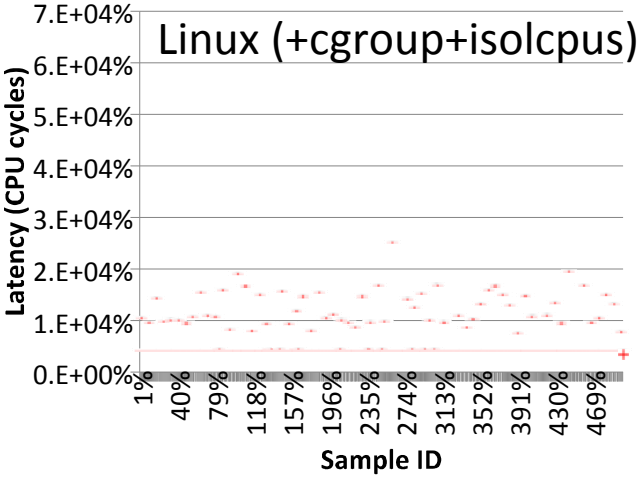
- ノイズの計測（FWQ）

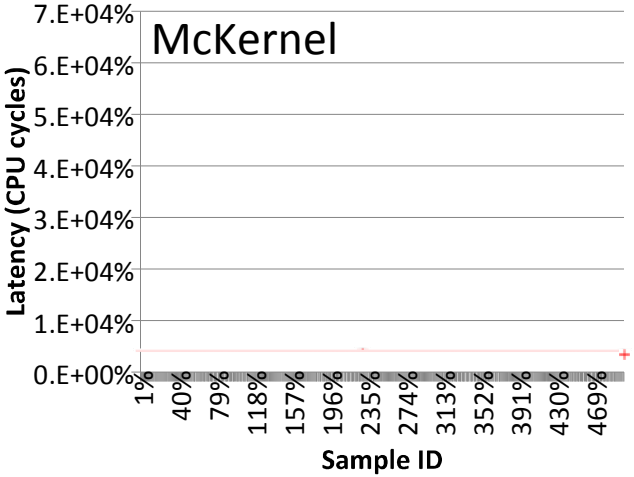




- MapReduce on Linux

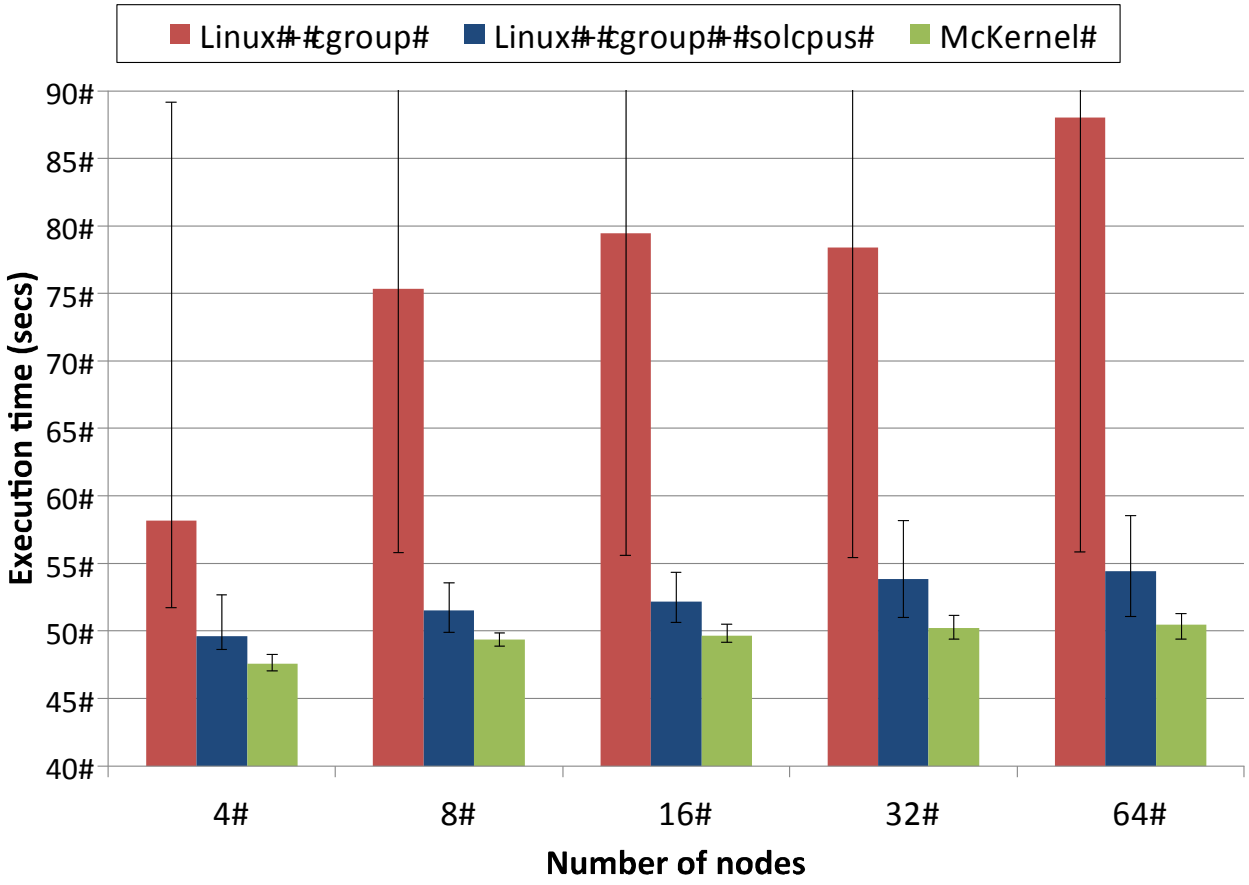






McKernelの評価 (2)

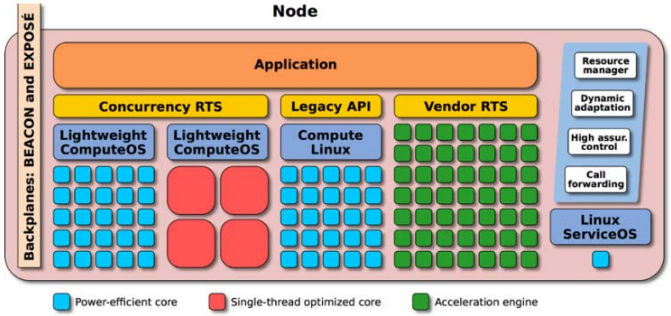
- **Linux 側にMapReduce を走らせ，McKernel 側で HPCプログラムを実行した時の HPC プログラムの実行時間**



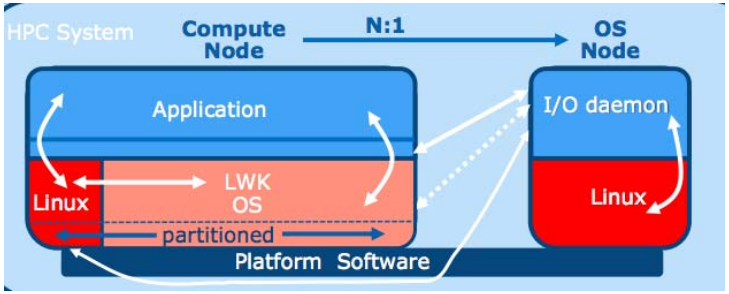
（b）HPC-CG

IPDPS16での発表論文から

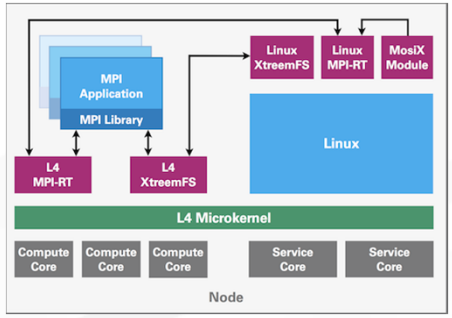
HPC向けOS比較 – 合わせ技が主流



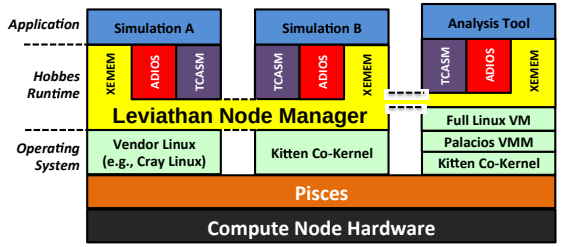
Argo (nodeOS), led by Argonne National Laboratory



mOS @ Intel Corporation



FFMK, led by TU Dresden



Hobbes, led by Sandia National Laboratories

Property/Project	Unmodified Linux Kernel	Device Driver Transparency in LWK	Kernel Level Workload Isolation	Full POSIX Support on LWK	Development Effort
Argo	No	Yes	No	Yes	Ideally small
mOS	No	Yes	Yes/No?	Yes	Ideally small
Hobbes (a.k.a., Pisces+Kitten)	Yes	No	Yes	No	Significant
FFMK (L4+Linux)	No	No	Yes	No	Significant
IHK/McKernel	Yes	Yes	Yes	Yes	Significant

McKernel - まとめ

- **Xeon Phi 上でも動作**
  - Knights Landing (KNL)　最新メニーコアCPU
- **Linux+McKernel**
  - LinuxコアでMapReduce，McKernelコアで並列アプリという動作でも，Linux だけよりも性能独立性が高い
  - Linuxよりはるかに単純なので，変更，機能追加が容易
    - McKernel (+IHK)：約 8 万行
    - Linux：2100万行！！（http://news.mynavi.jp/news/2016/04/11/130/）
- **より高いLinuxコンパチビリティ**
  - Procfs および numa 機能の実装など
- **実戦配備**
  - Oakforest-PACS（東大・筑波大）で採用
  - ポスト京コンピュータでも採用される予定

McKernel に関連する論文リスト

1) Balazs Gerofi, Masamichi Takagi, Gou Nakamura, Tomoki Shirasawa, Atsushi Hori and Yutaka Ishikawa "On the Scalability, Performance Isolation and Device Driver Transparency of the IHK/McKernel Hybrid Lightweight Kernel", IEEE International Parallel & Distributed Processing Symposium (IPDPS), 2016, Chicago, USA
2) Takagi Masamichi, Norio Yamaguchi, Balazs Gerofi, Atsushi Hori and Yutaka Ishikawa: "Adaptive Transport Service Selection for MPI with InfiniBand Network", International Workshop on Exascale MPI (ExaMPI), held in conjunction with ACM/IEEE International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis (SC), 2015, Austin, TX, USA Balazs Gerofi, Takagi Masamichi and Yutaka Ishikawa: "Toward Operating System Support for Scalable Multithreaded Message Passing", In Proc. EuroMPI, 2015
3) Balazs Gerofi, Masamichi Takagi, Yutaka Ishikawa, Rolf Riesen, Evan Powers and Robert W. Wisniewski: "Exploring the Design Space of Combining Linux with Lightweight Kernels for Extreme Scale Computing", In Proc. ROSS, 2015
4) Masamichi Takagi, Balazs Gerofi, Norio Yamaguchi, Takahiro Ogura, Toyohisa Kameyama, Atsushi Hori and Yutaka Ishikawa: "Operating System Design for Next Generation Many-core based Supercomputers", IPSJ SIG Technical Reports, 2015-ARC-215(1), pp. 1—8, 2015
5) Balazs Gerofi, Akio Shimada, Atsushi Hori, Takagi Masamichi and Yutaka Ishikawa: "CMCP: A Novel Page Replacement Policy for System Level Hierarchical Memory Management on Many-cores", In Proc. HPDC, 2014
6) Taku Shimosawa, Balazs Gerofi, Masamichi Takagi, Gou Nakamura, Tomoki Shirasawa, Yuji Saeki, Masaaki Shimizu, Atsushi Hori and Yutaka Ishikawa "Interface for Heterogeneous Kernels: A Framework to Enable Hybrid OS Designs targeting High Performance Computing on Manycore Architectures", In Proc. HiPC, 2014
7) Balazs Gerofi, Akio Shimada, Atsushi Hori and Yutaka Ishikawa: "Partially Separated Page Tables for Efficient Operating System Assisted Hierarchical Memory Management on Heterogeneous Architectures", In Proc. CCGRID, 2013
8) 佐伯 裕治, 清水 正明, 白沢 智輝, 中村 豪, 高木 将通, Balazs Gerofi, 思 敏, 石川 裕, 堀 敦史,「ヘテロジニアス計算機上のOS機能委譲機構」, 情報処理学会, 2013-OS-125(15) , pp. 1-7, 2013
9) Min Si and Yutaka Ishikawa, "Design of Communication Facility on Heterogeneous Cluster," 情報処理学会, 2012-HPC-133, 2012
10) Min Si, "An MPI Library Implementing Direct Communication for Many-Core Based Accelerators," SC' 12, poster, 2012
11) Yuki Matsuo, Taku Shimosawa and Yutaka Ishikawa, "A File I/O System for Many-Core Based Clusters," in conjunction with ICS2012, 2012
12) Min Si and Yutaka Ishikawa, "Design of Direct Communication Facility for Manycore-based Accelerators," CASS2012 in conjunction with IPDPS2012, 2012
13) 下沢, 石川, 堀, 並木, 辻田,「メニーコア向けシステムソフトウェア開発のための実行環境の設計と実装」, 情報処理学会, 2011-OS-118(1), 1-7, 2011
14) Taku Shimosawa and Yutaka Ishikawa, "Inter-kernel Communication between Multiple Kernels on Multicore Machines," IPSJ Transactions on Advanced Comuting Systems Vol.2, No.4 (ACS 28), pp. 64-82, 2009
15) Taku Shimosawa, Hiroya Matsuba and Yutaka Ishikawa, "Logical Partitioning without Architectural Supports," 32nd IEEE Intl. Computer Software and Applications Conference (COMPSAC 2008), pp. 335-364, 2008

Processes In a Process (PIP)

- PVAS のユーザレベル実装 -

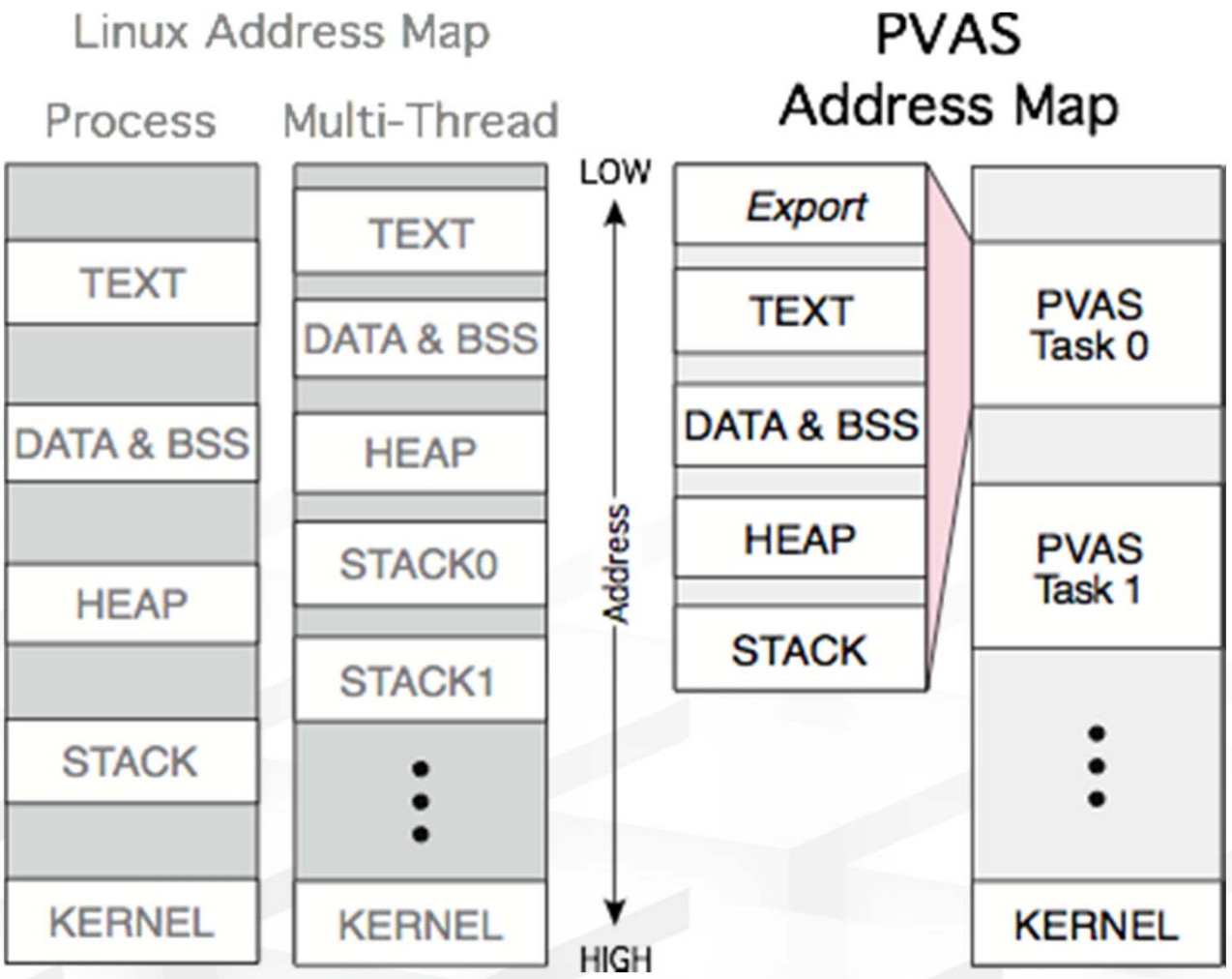
背景

並列実行モデル	データ	利点	欠点
プロセス	アクセス出来ない	排他制御少	低速な通信
スレッド	全て共有	高速な通信	排他制御多

アイデア

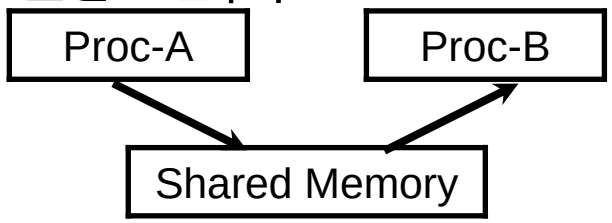
- **プロセス間でデータを互いに直接アクセスできるようにしよう！**
- **既存研究**
  - Smartmap (米SNL)
    - **Kitten OS**
    - X86 アーキテクチャに依存
  - Xpmem (SGI ?)
    - **Linux カーネルモジュール**
    - 直接アクセスするためにシステムコールが必要
  - PVAS (理研)
    - **Linux カーネルに約 5,000 行のパッチ**

Partitioned Virtual Address Space

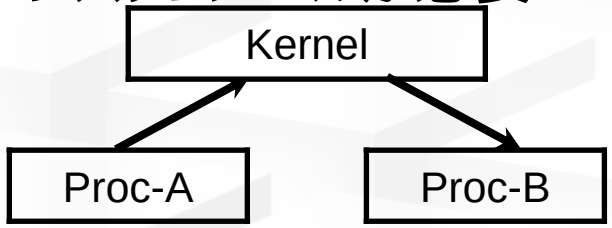


直接アクセスすることの利点

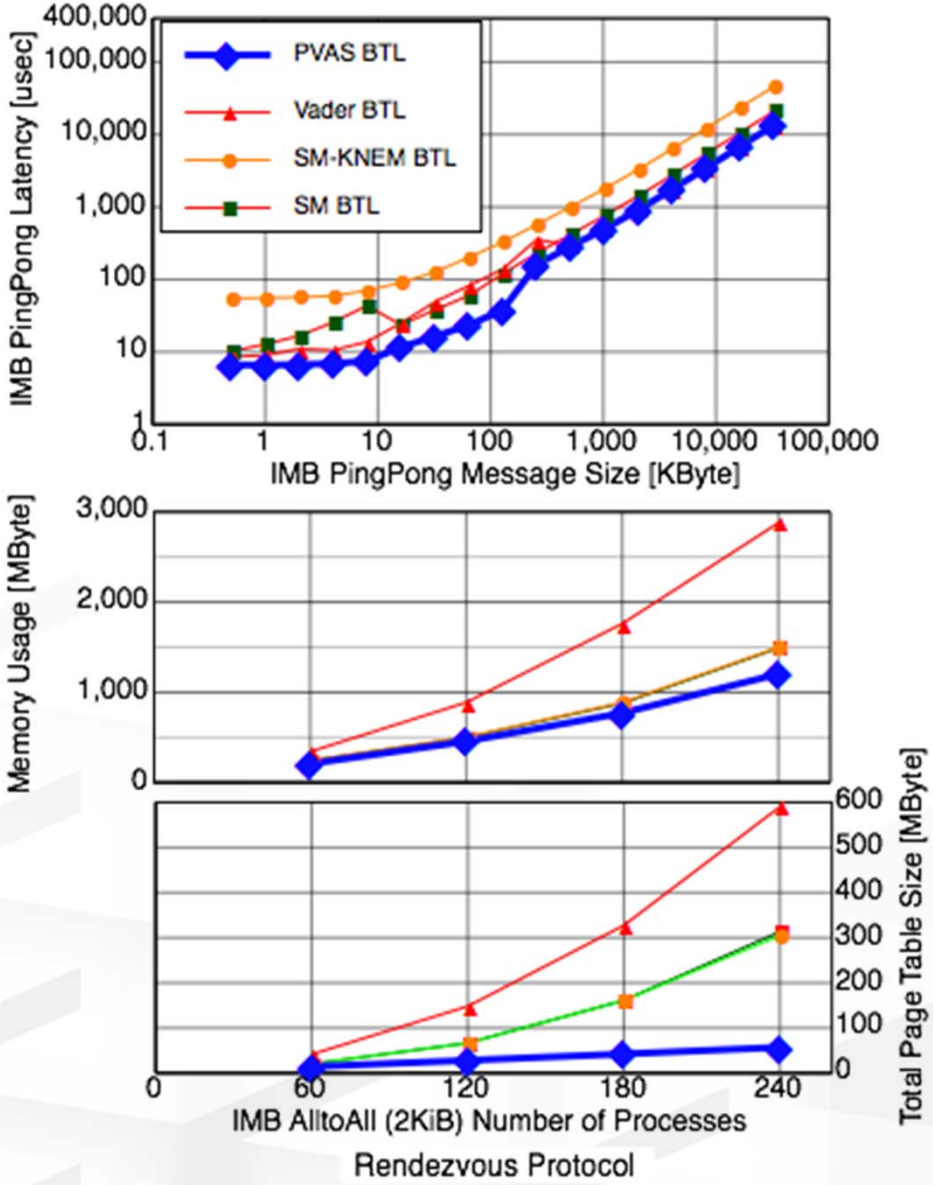
- **共有メモリ経由**
  - コピー２回



- **カーネル経由**
  - コピー１回
  - システムコールが必要

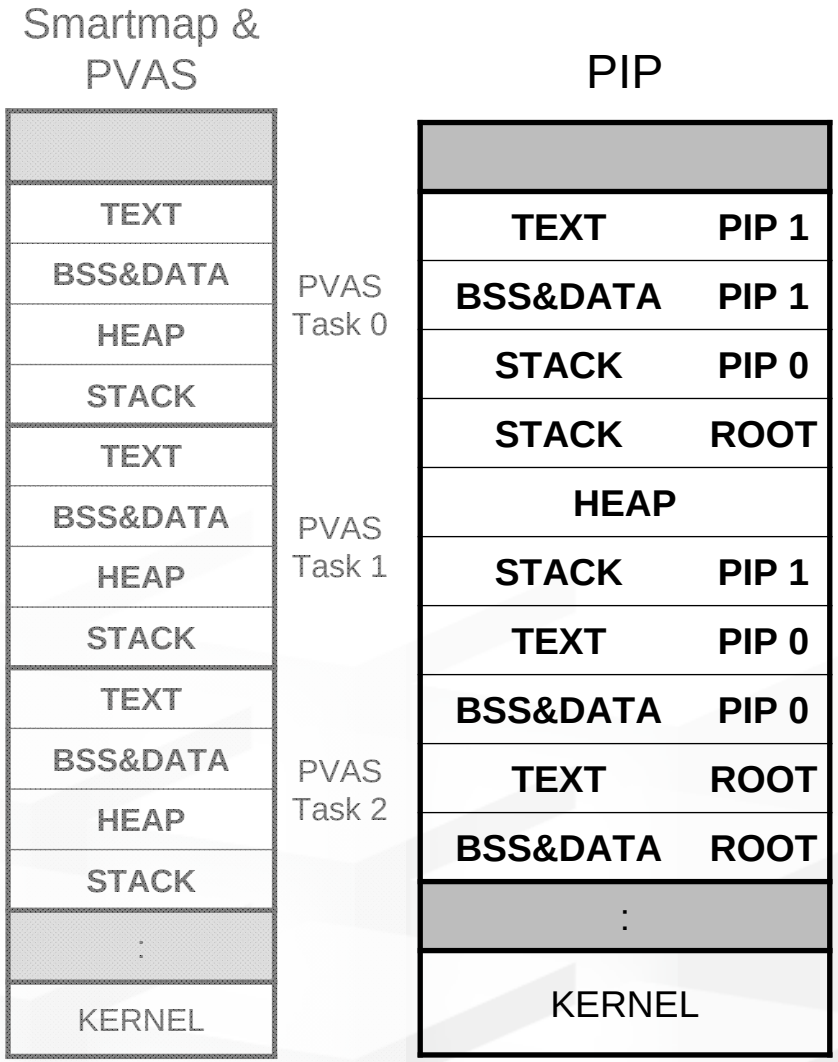


- **PVAS**
  - コピー１回
  - システムコール不要



ユーザレベルでの実装

- **新しいOS開発（Smartmap)やLinuxへのパッチ(PVAS)を避ける**
  - 普及が難しい
  - 保守が大変
- **ユーザレベルでの実装**
  - Linux の clone() システムコール と glibc の dl**m**open() 関数で実現できることが判明した
  - Processes In a Process (PIP)



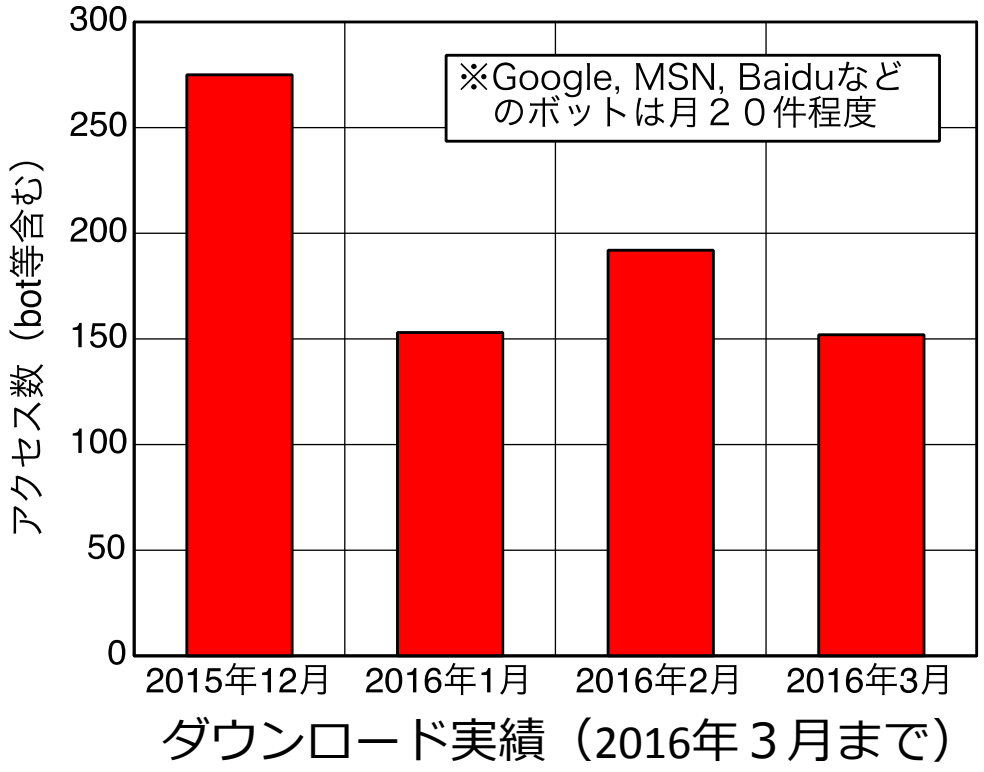
PIP – まとめ

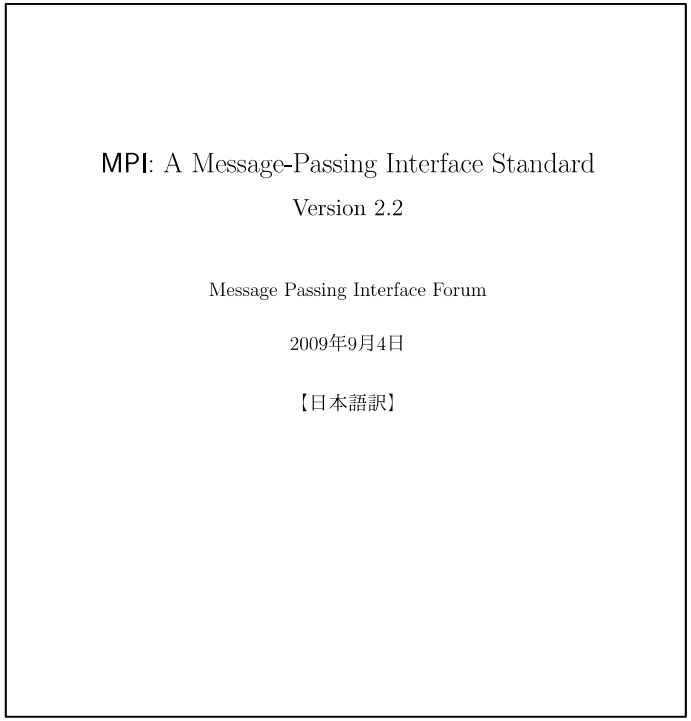
- **従来の２つのノード内並列実行方式、プロセス並列とスレッド並列のいいとこ取り**
- **これまでに提案された方式と異なり、ユーザレベルで実装される**
- **PIP により、以下の利点が期待される**
  - より高速なノード内通信
  - より低メモリ消費な並列実行環境
- **今後**
  - 論文発表の後、オープンソースとして公開
  - MPICH、Open MPI の PIP による実装
- **共同研究**
  - ANL、テネシー大学、仏CEA など

MPI規格書の翻訳

One more thing…

- **MPI企画書の日本語訳**
  - MPI 2.2 日本語訳初版（652ページ）
    - http://www.pccluster.org/ja/mpi.html
  - MPI 3.1(?) の翻訳は近々開始する予定




MPI: A Message-Passing Interface Standard

Version 2.2

Message Passing Interface Forum

2009年9月4日

【日本語訳】