ベクトル計算は なぜ速い

たけおか @takeoka

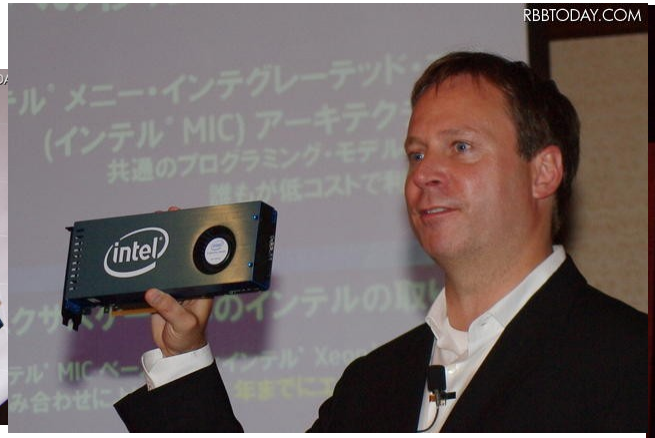
PCクラスタ・コンソーシアム理事でもある

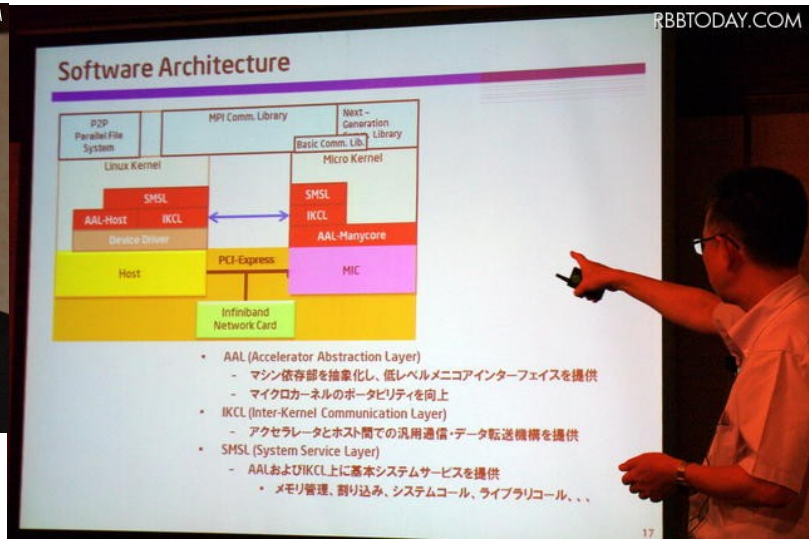
2011/OCT/22

ベクトルじゃない話
みんな大好き
Intel
最新Many Core

Intel Many Core, Knights Ferry

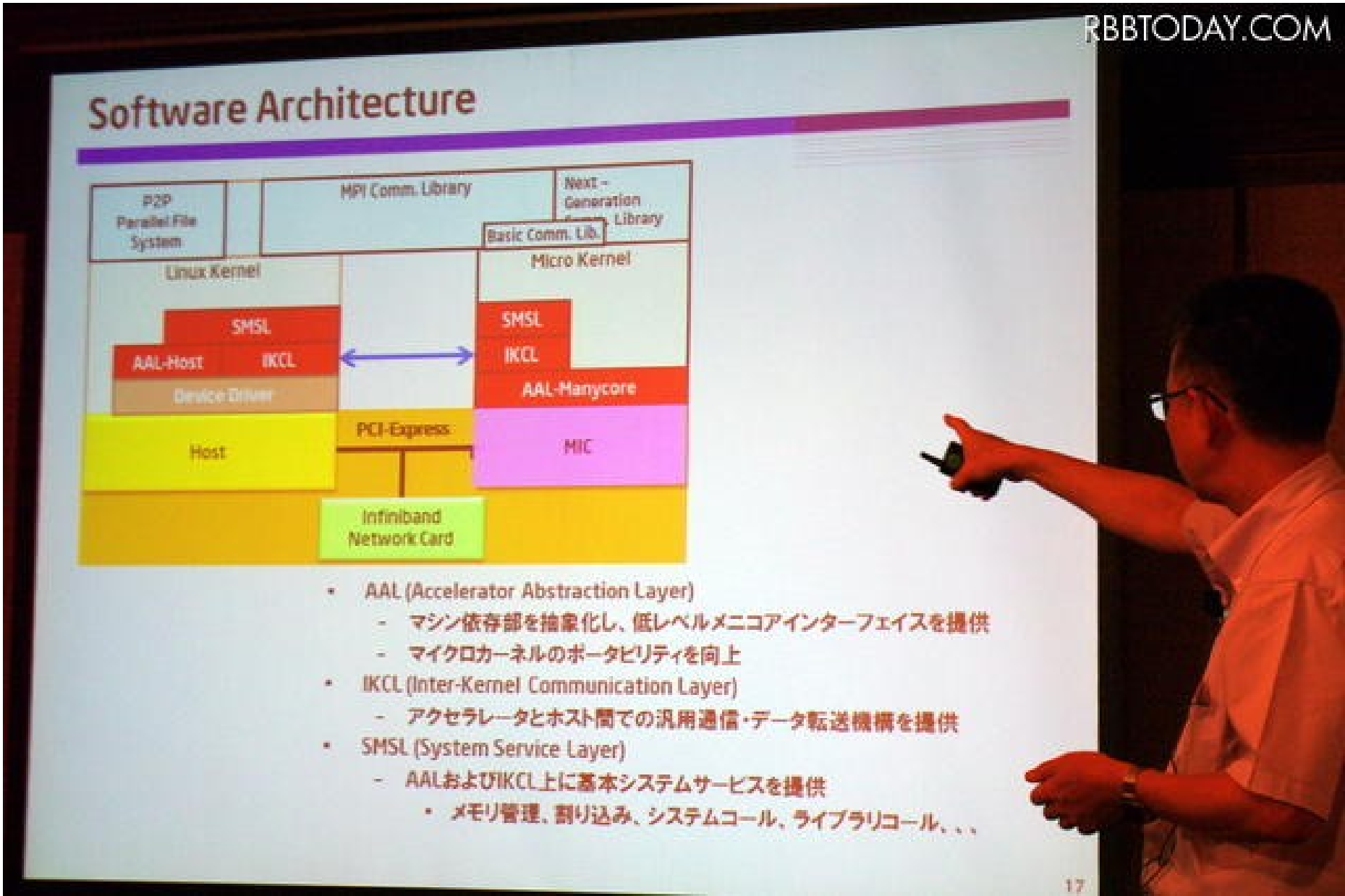
- インテル、7年後のエクサスケール時代に向けたデータセンター事業戦略「Cloud 2015」
- インテルは31日、都内で「インテル・エンタープライズ・アップデート」を開催した。今回は、インテル コーポレーション 副社長兼 データ・センター事業部長のカーク・スカウゲン氏が来日してプレゼンテーションを行った。
- 今回のプレゼンテーションでは、インテル メニー・インテグレーテッド・コア（以下MIC）のアーキテクチャー アップデートを中心として、同社のデータ・センター戦略「Cloud 2015」ビジョンとエクサスケール時代に向けた取り組みを紹介。さらに、東京大学の大学院情報理工学系研究科 コンピュータ科学専攻 教授で、情報基盤センター センター長である石川裕氏が「メニイコア搭載クラスタによる高性能計算環境」をテーマに講演した。
- http://www.rbbtoday.com/article/2011/08/31/80482.html





東大石川研Exaスケール OS研究on MIC

- 「メニイコア搭載クラスタによる高性能計算環境」
-



ベクトル計算

「ベクトル計算が新しい」と2008年末に言いました

- Intelに入ってる! (2008年から見た「近未来?」)
- GPU計算が新しい(2008年当時)
- Intel AVX (Advanced Vector Extension)
  - SIMD命令を進めて、ベクトル機構をつける
  - http://softwareprojects.intel.com/avx/
- AVXは遅れているが、Intelではありがち
- NEC(半導体部門ではない)と提携
  - NECといえばベクトルマシン

GPU=ベクトル・ユニット

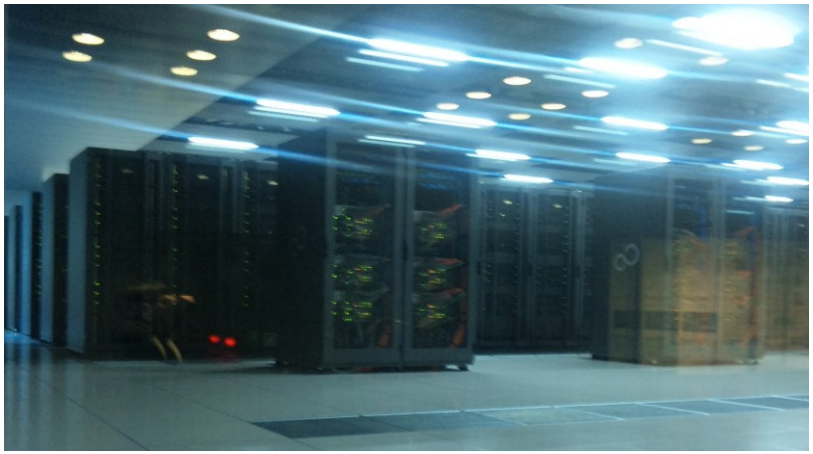
- GPU計算
- 天河, TSUBAME2.0 などTOP500の1, 3, 4位は
  GPU+x86
  - 2, 5位はCrayでx86。コア数がとても多い
- 「PCマンセー、ベクトル死亡＼(^^)／」という、一般人の皆さんが多数
  ＊＊＊ しかし ＊＊＊
- GPUは、まさにベクトル計算機
- ベクトル計算機が、コモディティ技術になっただけ
  - Intelも、それに気づいていた
    - AVXを入れようとして遅れ
    - GPU+CPU(Larrabee)も失敗中

2010年のTOP500中のTOP5

名前（サイト, 開発)	コア数	Rmax (TFlops)	Rpeak	電力 (KW)	
天河1a(天津)	186,368	2,566.00	4,701.00	4,040.00	NUDT TH MPP, X5670 2.93Ghz 6C, NVIDIA GPU, FT-1000 8C
Jaguar (オークリッジ研究所,Cray)	224,162	1,759.00	2,331.00	6,950.60	Cray XT5-HE Opteron 6-core 2.6 GHz
星雲(深圳)	120,640	1,271.00	2,984.30	2,580.00	Dawning TC3600 Blade, Intel X5650, NVidia Tesla C2050 GPU
TSUBAME2.0(東工大)	73,278	1,192.00	2,287.63	1,398.60	HP ProLiant SL390s G7 Xeon 6C X5670, Nvidia GPU, Linux/Windows
Hopper (エネルギー研究科学計算センタ,Cray)	153,408	1,054.00	1,288.63	2,910.00	Cray XE6 12-core 2.1 GHZ

日本のスパコン

- 日本は、スパコン大国。ただし、現在は、ビミョー



神戸ペタコン「京」ちゃん(Sparcだが、中はベクトル計算に特化した機能アリ)

地球シミュレータ(ベクトル計算機×たくさん)

東工大 TSUBAME (x86+GPUたくさん)

ベクトル計算機とは

- 昔のスーパコンピュータ
  - ベクトルは今でも速い
    - 日本メーカが強くなりすぎて、政治的にアメリカはベクトル・スパコンを買わなくした
    - 技術的に古くなったのではない
      - 過去に一度も古くなっていない（重要）
    - 地球シミュレータは、ベクトル・マシンを4000台並べた、スパコン・クラスタ
- ベクトル命令を1つフェッチして、

データ列(ベクトル)に、同じ演算を繰り返す

  - 演算器−ベクトル・レジスタ−外部I/F のバランスを正しく設計する
  - キャッシュ・メモリは必ずしも必要ない

Key Intel® Advanced Vector Extensions (Intel® AVX) Features

KEY FEATURES	BENEFITS
• Wider Vectors - Increased from 128 bit to 256 bit	• Up to 2x peak FLOPs (floating point operations per second) output with good power efficiency
• Enhanced Data Rearrangement - Use the new 256 bit primitives to broadcast, mask loads and permute data	• Organize, access and pull only necessary data more quickly and efficiently
• Three and four Operands, Non Destructive Syntax - Designed for efficiency and future extensibility	• Fewer register copies, better register use for both vector and scalar code
• Flexible unaligned memory access support	• More opportunities to fuse load and compute operations
• Extensible new opcode (VEX)	• Code size reduction

Intel® AVX is a general purpose architecture, expected to supplant SSE in all applications used today

Intel AVXの特徴

Intel AVXの特徴

キー	恩恵
ワイド・ベクトル 128から256bitへ増加	最大2倍のFLOPs
強化されたデータの配置– ブロードキャスト、マスクロード、データの転置のための新しい256bitプリミティブ	必要なデータだけを、高速で効果的にアクセスし引っ張ってきて、構成
3つか4つのオペランド出鱈目でない文法–効果的で将来の拡張性があるように設計	より少ないレジスタのコピー、ベクトルでもスカラでもよりよいレジスタの使用
柔軟な整列していない メモリのアクセスのサポート	ロードと計算操作の融合をもっと図る
拡張性ある新しいオペコード(VEX)	コードサイズの縮小

Intel AVXは汎用アーキテクチャである、今日のすべてのアプリケーション中のSSEに取って代わる事が期待される

Intel AVX対応コンパイラ模索中

- Gccは対応
- Intel Compiler

- AVXの動作する実機も模索中

ARMもベクトル命令

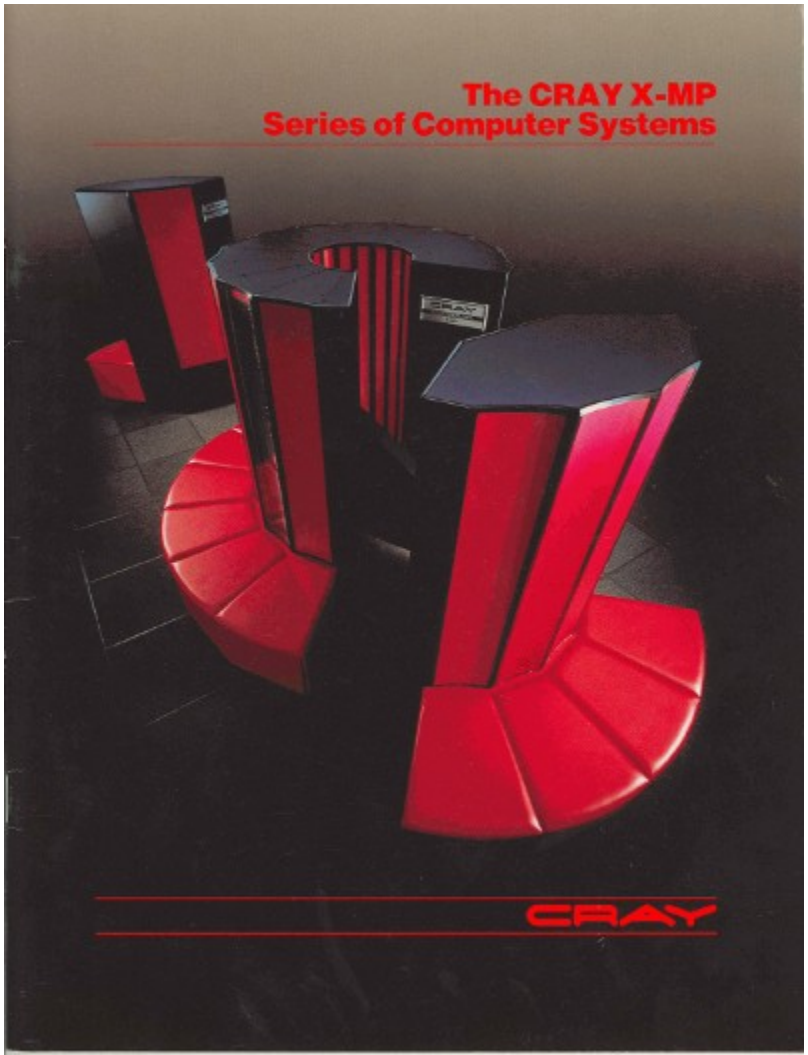
- VFP (Vector Floating Point)
  - 短ベクトル命令
    - 実際には、シーケンシャルに処理される
      - いわゆるシングル・パイプ
    - ベクトル長が短いので、SIMDに比して性能が出ない
    - コンパイラもろくにサポートしていない
      - 単なる1つのFPUとして使用
- Advanced SIMD (NEON)
  - 実SIMD
  - codecで使われ、性能がそれなりに出ているらしい

GPGPU

- ベクトル計算機
- CUDA
- OpenCL
- 専用プロセッサを汎用として公開するのは、やはりなかなか難しい
- GPUメーカも計算ユニットとして意識している
- GPUメーカは、高速計算を得意とする会社が多い
  - 座標変換、ソートなどをパイプラインで行う

ベクトル計算機のオープンなドキュメント

- CRAY X-MPなどのマニュアルがフリーに



- CRAY X-MPとは
  - CRAY-1を2台接続
  - メインメモリ共有

ベクトル計算機の
オープンなドキュメント

- CRAY X-MPなどのマニュアルがフリーに

http://www.bitsavers.org/pdf/cray/

HR-0032_CRAY_X-MP_Series_Model_22_24_Mainframe_Ref_Man_Jul84.pdf

- CRAY X-MPについて詳しく述べてある
  - 非常に勉強になる
  - ベクトル計算機の使用方法が分かる
  - ベクトル計算機の作り方もわかる
- 日本語翻訳　一人プロジェクト
  - CRAY X-MPについて

http://www.takeoka.org/~take/supercom/cray-xmp.html

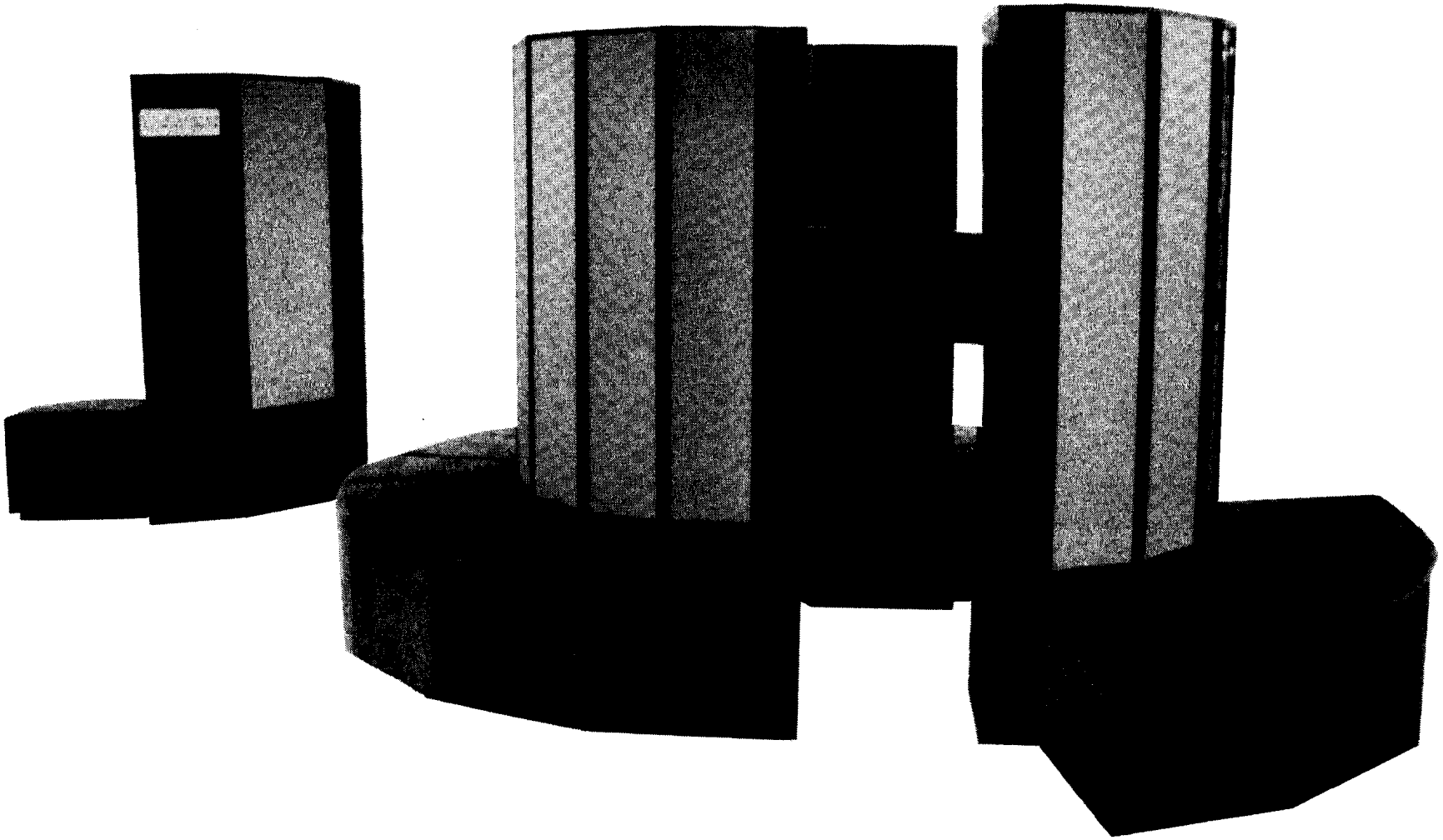
CRAY RESEARCH, INC.

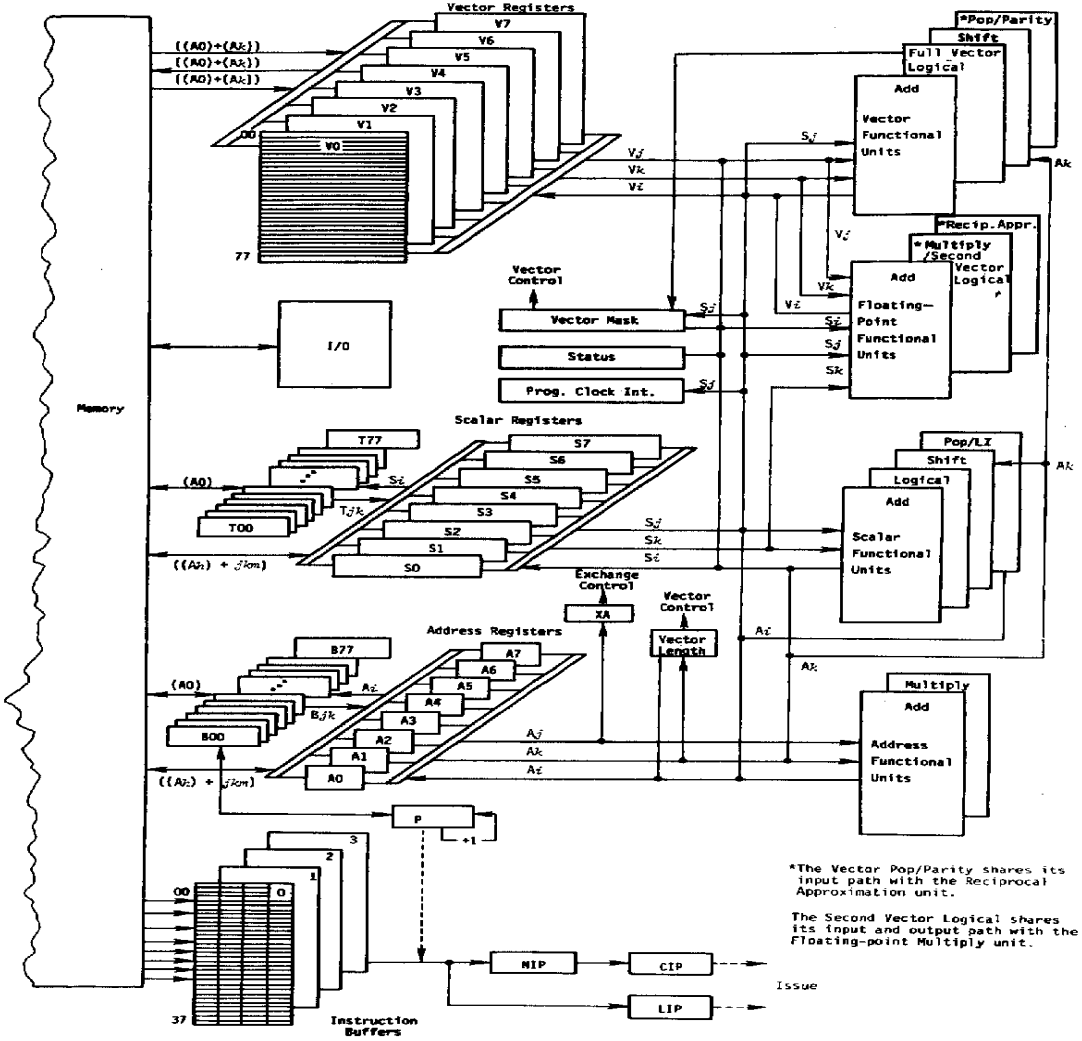
Any shipment to a country outside of the United States requires a U.S. Government export license.

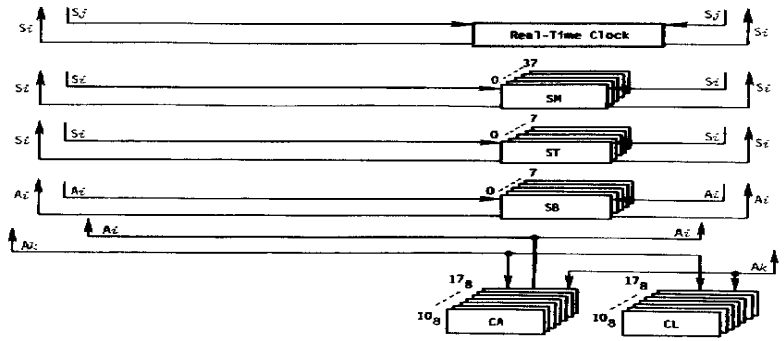
CRAY COMPUTER SYSTEMS

CRAY X-MP SERIES
MODELS 22 & 24
MAINFRAME REFERENCE MANUAL

HR-0032




Vector Registers
V7
V6
V5
V4
V3
V2
V1
V0
00
77
((A0)+(Aj))
((A0)+(Ak))
((A0)+(Ai))
Memory
I/O
Vector Control
Vector Mask
Status
Prog. Clock Int.
Scalar Registers
T77
T00
S7
S6
S5
S4
S3
S2
S1
S0
(A0)
((Aj) + jkm)
Address Registers
B77
B00
A7
A6
A5
A4
A3
A2
A1
A0
Exchange Control
XA
Vector Control
Vector Length
P
+1
00
37
Instruction Buffers
NIP
CIP
LIP
Issue
*Pop/Parity
Shift
Full Vector Logical
Add
Vector Functional Units
*Recip. Appr.
*Multiply
/Second Vector Logical
Add
Floating-Point Functional Units
Pop/LZ
Shift
Logical
Add
Scalar Functional Units
Multiply
Add
Address Functional Units
*The Vector Pop/Parity shares its input path with the Reciprocal Approximation unit.
The Second Vector Logical shares its input and output path with the Floating-point Multiply unit.


Real-Time Clock
SM
ST
SB
CA
CL
17₈
10₈

ベクトル計算機とは

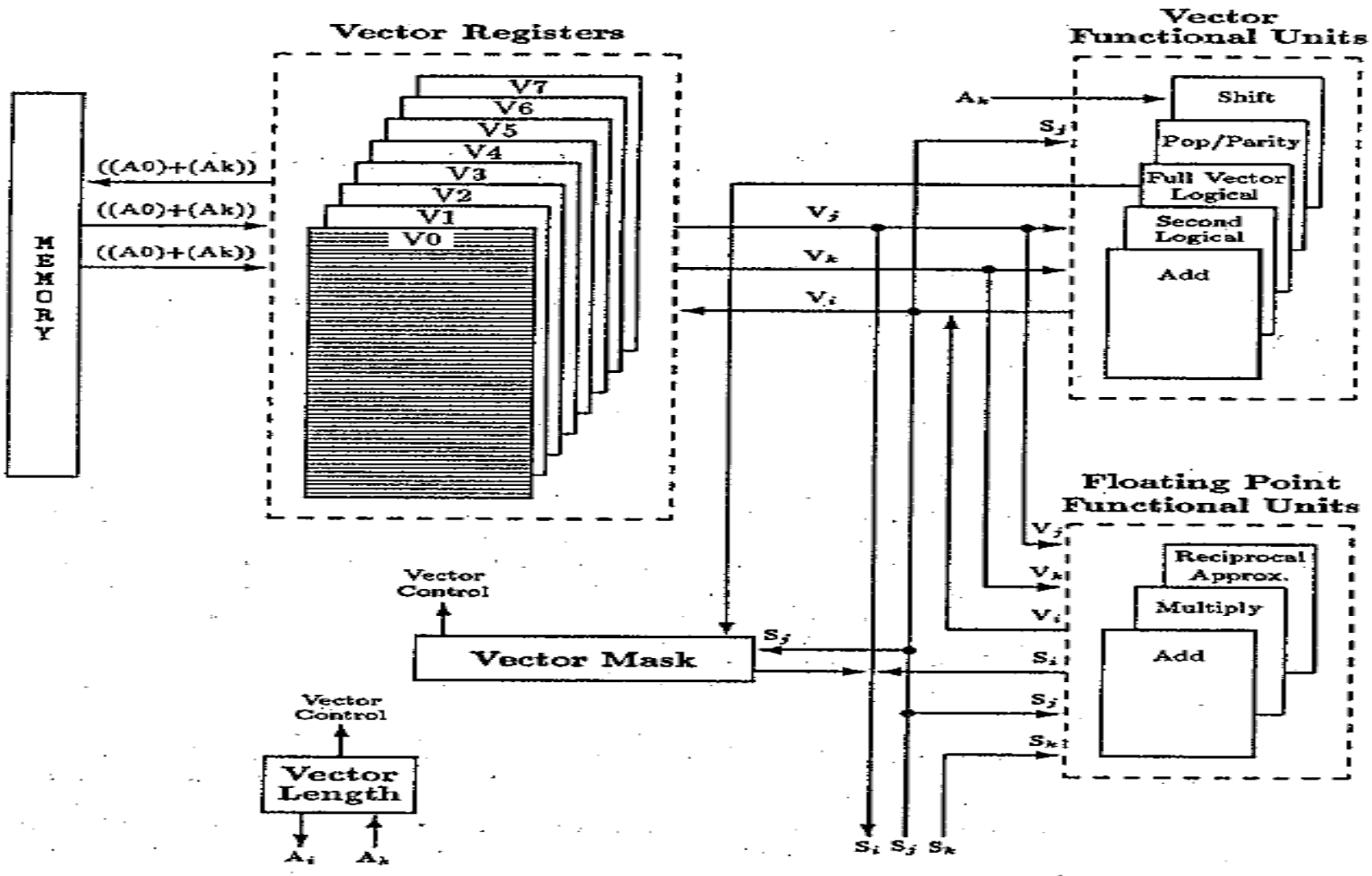
ベクトル計算機とは

- ベクトル命令を1つフェッチして、
  データ列(ベクトル)に、同じ演算を繰り返す
  - 演算器−ベクトル・レジスタ−外部I/F のバランスを正しく設計する
  - キャッシュ・メモリは必ずしも必要ない
  - ベクトル・マスクを利用して、条件によっては結果をストアしない
    - 条件分岐無しで、条件ごとに結果を変えられる

- パイプラインを間断なく流す

CARY X/MPのベクトル処理部

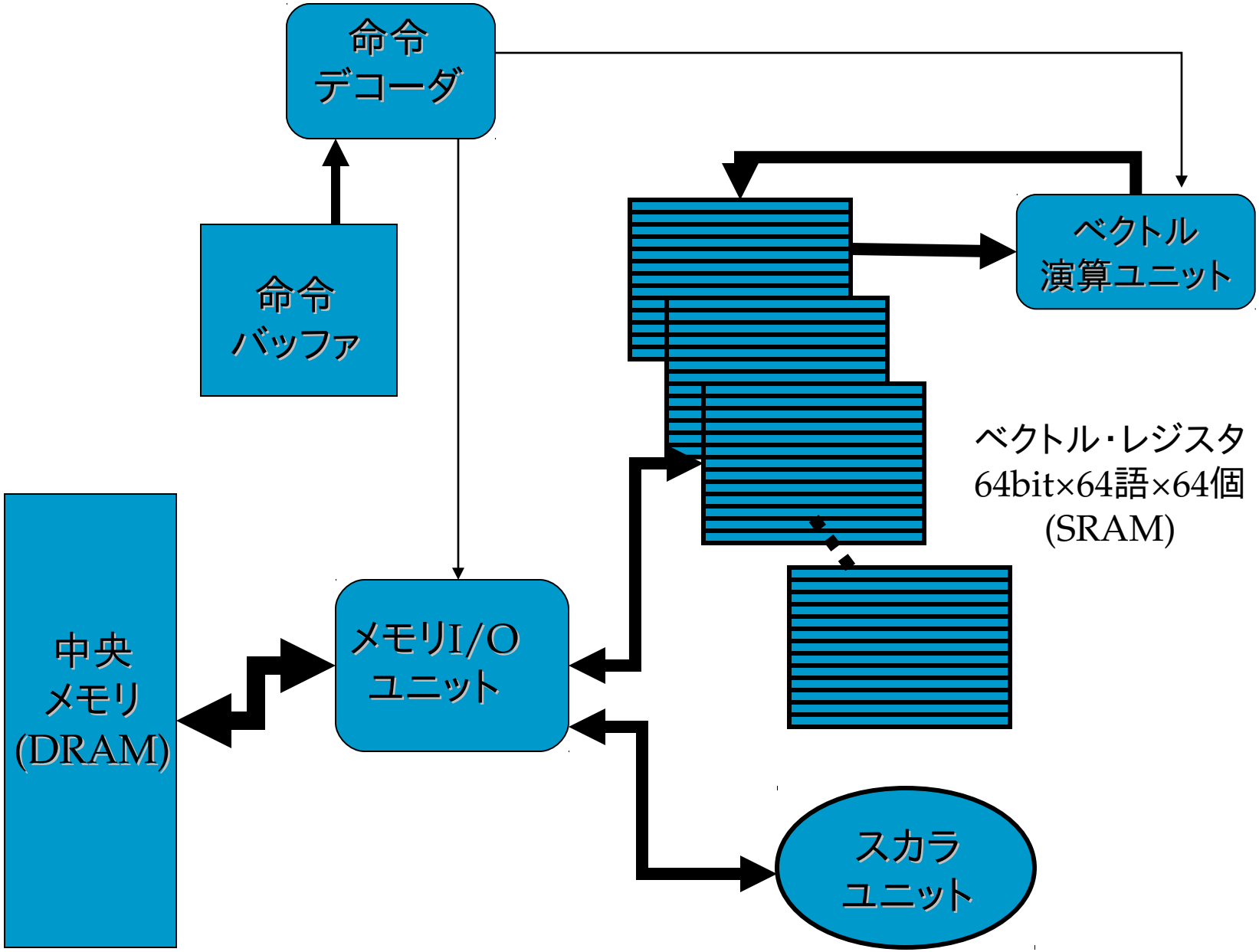
- パイプラインを間断なく流す



The Vector Pop/Parity unit shares its input path with the Reciprocal Approximation unit.

The Second Vector Logical unit shares both its input and output paths with the Floating Point Multiply unit.

ベクトル計算機とは


命令
デコーダ
命令
バッファ
ベクトル
演算ユニット
ベクトル・レジスタ
64bit×64語×64個
(SRAM)
中央
メモリ
(DRAM)
メモリI/O
ユニット
スカラ
ユニット

ベクトル処理

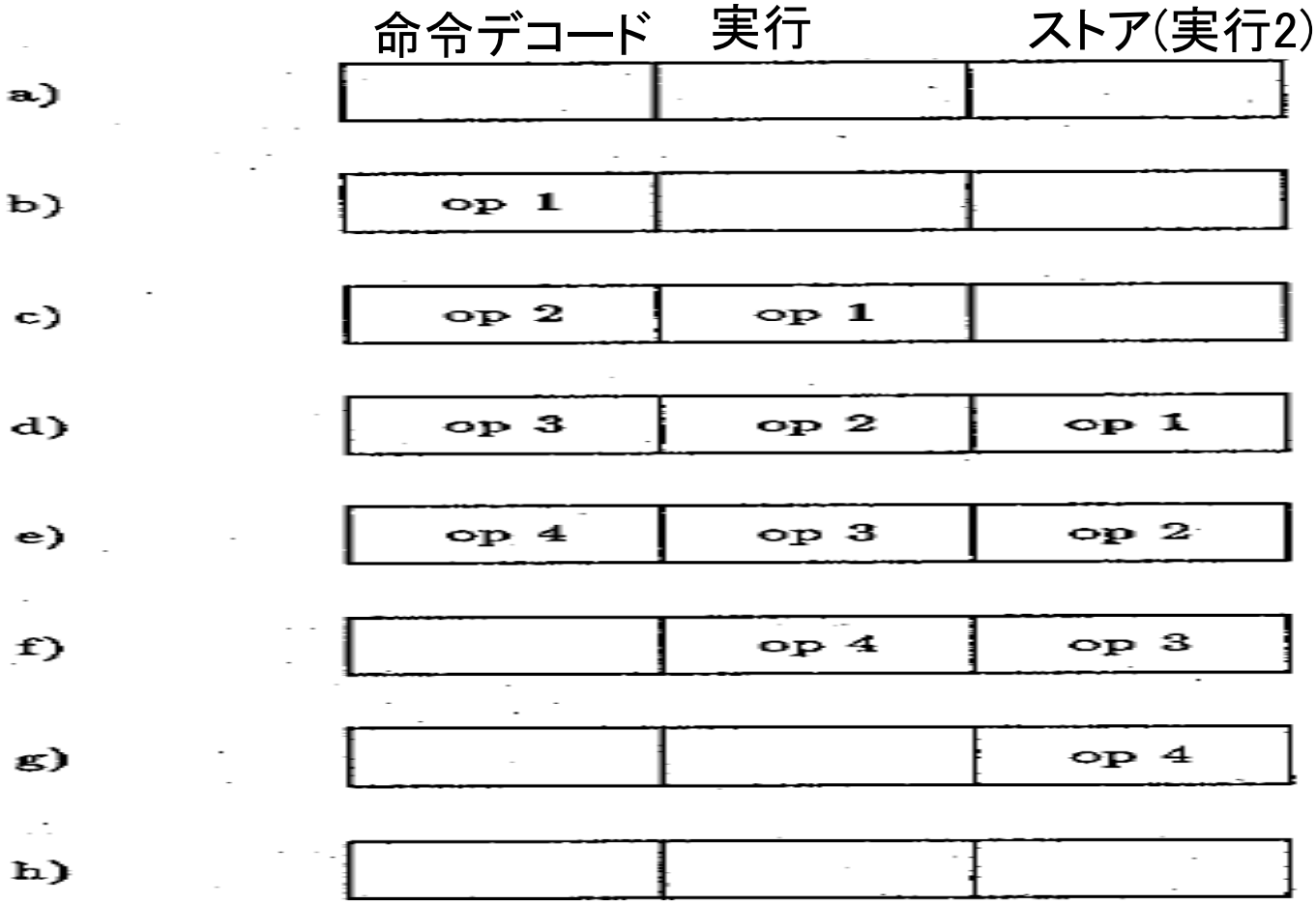
- SSE, SIMDは、ベクトル処理のダサい親戚
- ベクトル処理は、一次元のパイプライン
- SIMDは、演算器を並列に並べる
  - パイプライン化はされている
  - これまでのSSEは、足回り(メモリIO)が弱い
- ベクトル計算機は、

  メモリIO⇔ベクトルレジスタ⇔演算器

  が、最適なバランスでデザインされている

パイプライン処理

- パイプラインを間断なく流す
  - ある命令の処理中に、別フェーズで別な命令を処理する
  - パイプラインが止まることを、「ストールする」、「泡(bubble)が入る」と言う
- ベクトル計算機は、特にデータ処理パイプラインが高速である

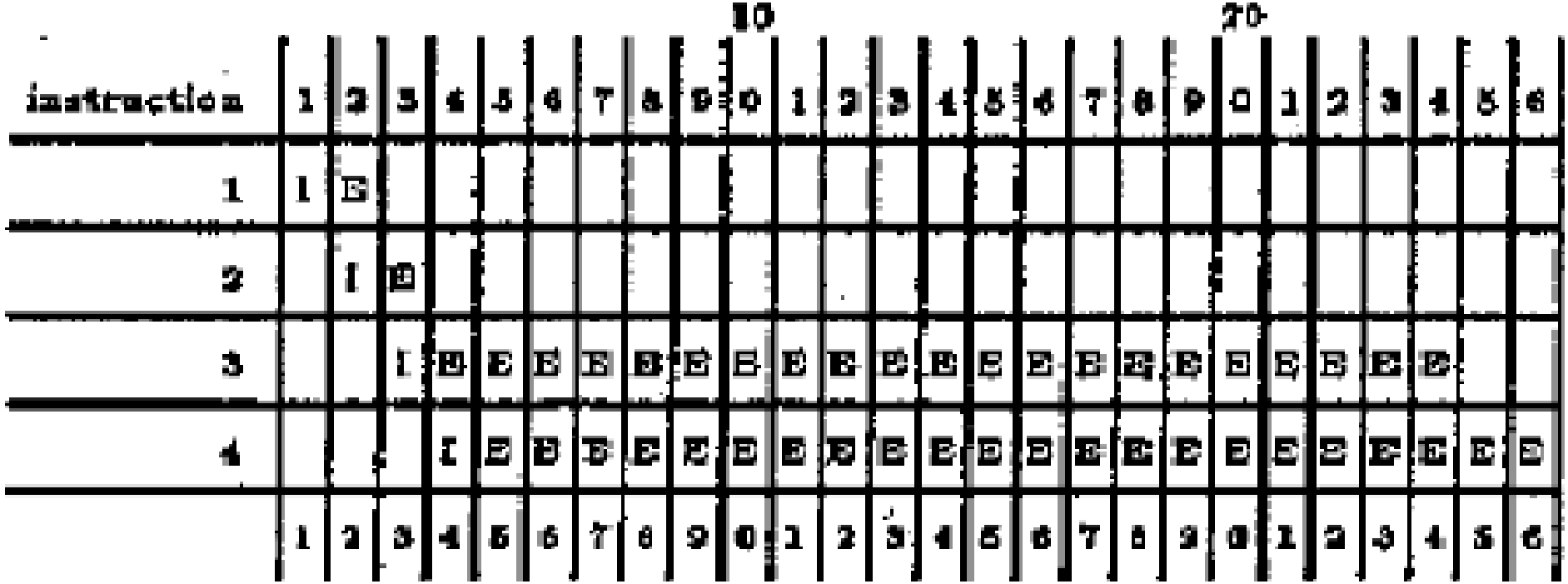


パイプライン処理

ソースの競合なし。スカッと流れる。

加算器と乗算器は別にあるので、同時に動く。CRAY X/MPの加算は3ステージ

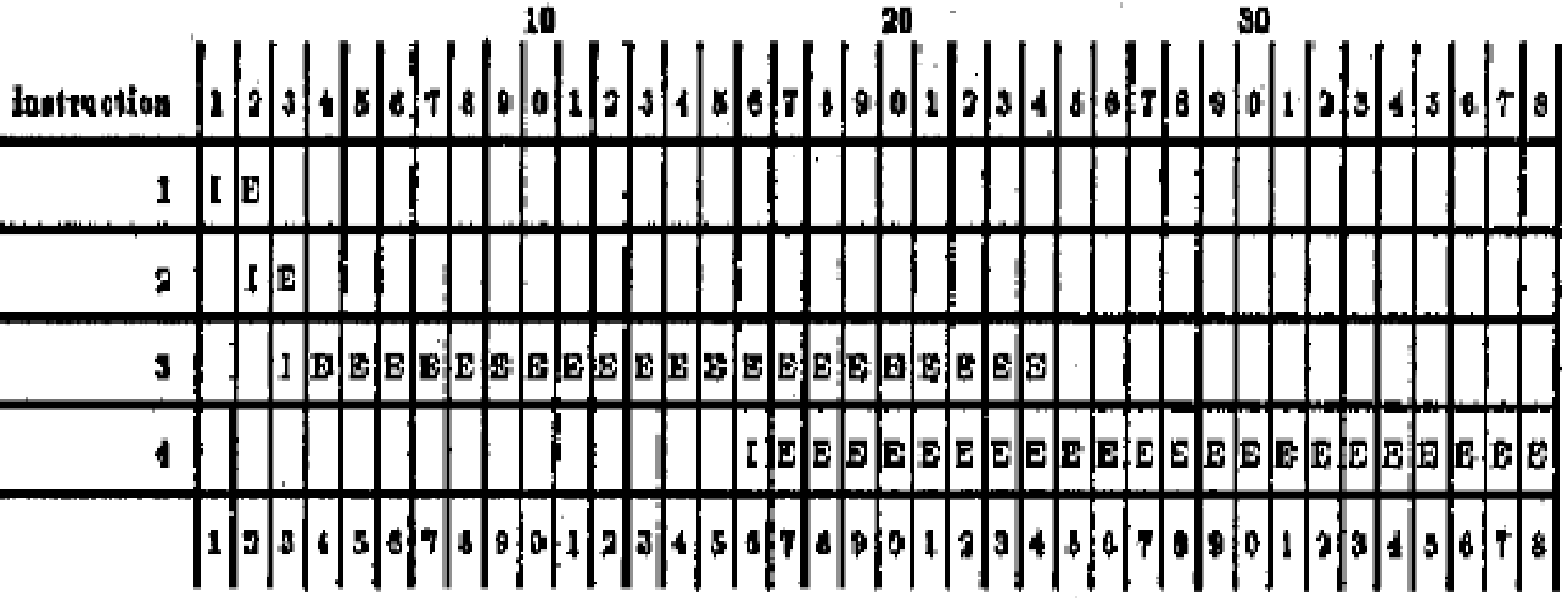
行	命令	説明
1	A1 10	A1を10にする
2	VL A1	ベクトル長レジスタに10を入れる
3	V4 V3+FV2	V3とV4を浮動小数点数加算してV4へセット
4	V6 V5*FV7	V5とV7を浮動小数点数乗算してV6へセット



パイプライン処理

ソースが競合(V3の読み出しで競合。パイプラインが止まる)

行	命令		説明
1	A1	10	A1 を 10 にする
2	VL	A1	ベクトル長レジスタに10を入れる
3	V4	V3+FV2	V3 と V4 の浮動小数点数を足して V4 へ代入
4	V6	V3*FV7	V3 と V7 の浮動小数点数を掛けて V6 へ代入



ベクトルマスク

- あるレジスタ(マスク・レジスタ)に、条件をセットする(1,0で)
- ベクトル計算の結果ストア時やロード時に、マスク・レジスタを参照し、
- 0であれば、ストアを実行しない
- パイプラインを乱さずに計算を実行できる

- 条件分岐命令 (if then 式)は、jumpを実行する時、パイプラインが乱れる
  - 命令流が変わるので、命令パイプラインに泡が入る
  - 命令がフェッチ&デコードできなければ、当然、データ・パイプも流れない

ストライド

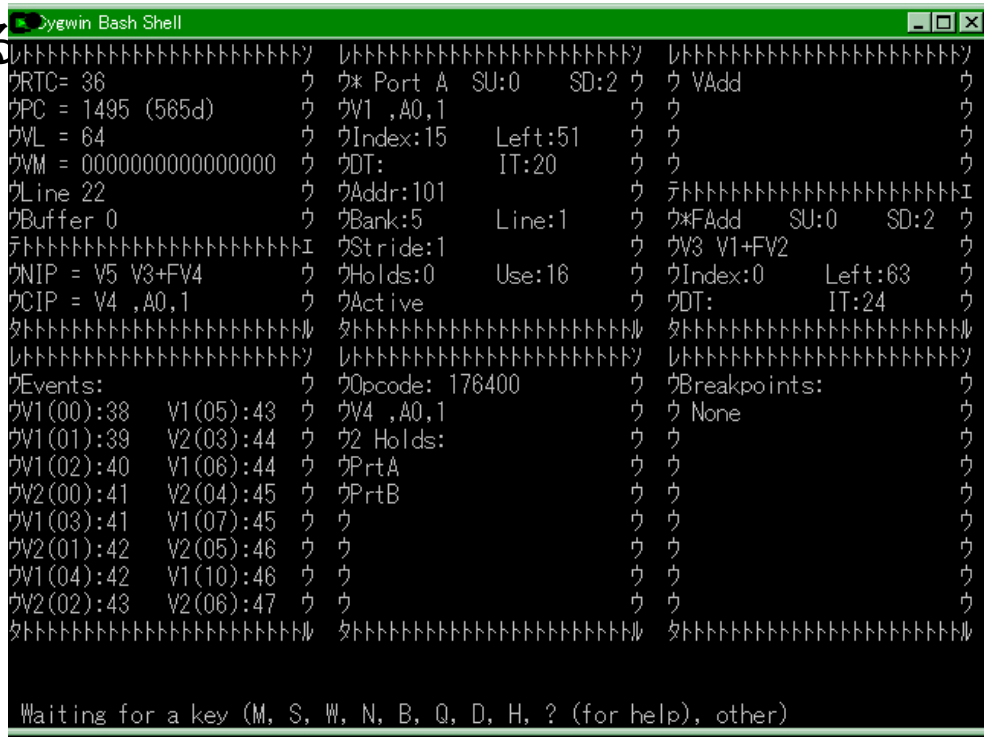
- メモリ上のデータを、一定の間隔(ストライド)を空けてアクセス
- ベクトル・レジスタへのロード,ストア時に、指定する
- 例えば CRAY X/MPの
- Vi ,A0,Ak 命令
  - Viの要素0からVL-1までに、A0番地から始まるメモリを読み込む。アドレスの増分はAk (Akがストライド)
- 今の、ベクトル計算機やGPUはもっと複雑な修飾や、マスク・レジスタを参照した修飾が可能

〆にCRAY

X-MPシミュレータもある

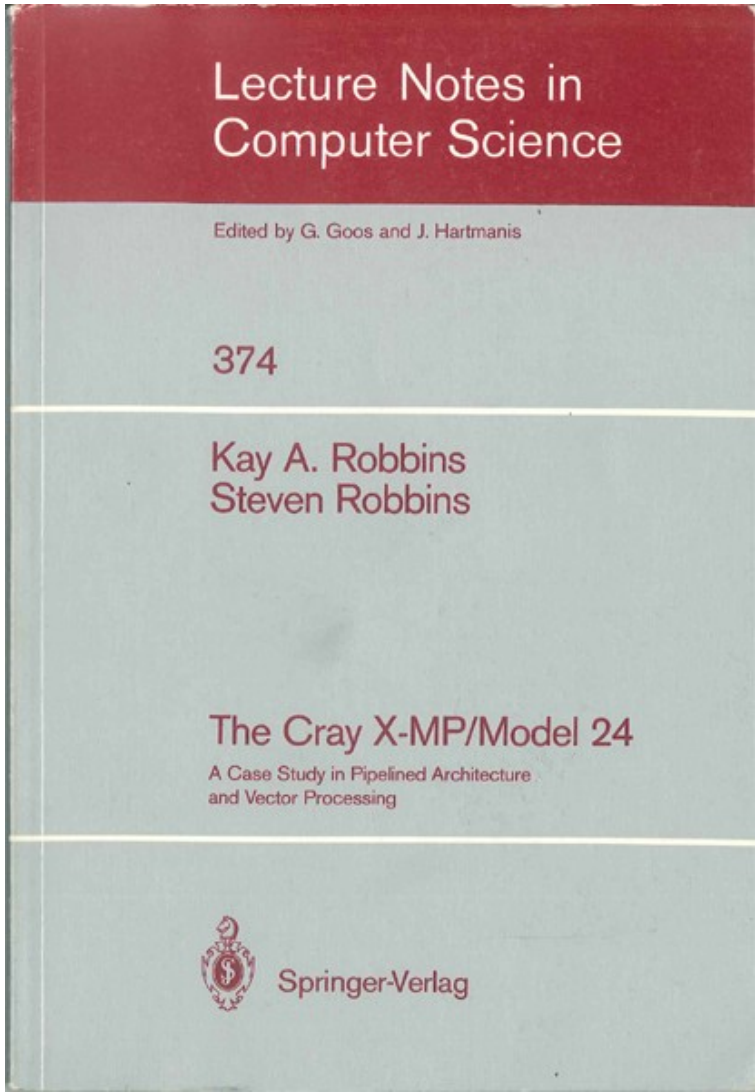
- XMPSIM
  - CRAY X-MPのパイプラインをシミュレートするソフトウェアがあり。
  - 命令セットと各命令のパイプラインをシミュレート
  - バイナリ供給で、PC/ATのDOS用
  - 日本語WindowsのDOS窓でも、支障なく使用可能
    - 枠の線などに文字化けが発生する

http://www.utdallas.edu/~cantrell/ee2310/xmpsim.html



無料ではない教科書

- The Cray X-Mp/Model 24: A Case Study in Pipelined Architecture and Vector Processing
  - 出版社: Springer (1989/09)
  - ISBN-10: 0387970894
  - 発売日 : 1989/09
  - 非常にいい教科書
    - Cray X-MPがどうして
      そのように作られているか,がわかる
    - シュプリンガーの
      レクチャーノートなのに、
      英語が非常に口語的で
      泣きそうに。
- これの全和訳もした
  - 5人程度の有志で



ベクトル計算バンザイ＼(^^)／

- 来るべき新時代に向け勉強しよう
  - マニュアルを読むだけで非常に勉強になる
  - 浮動小数点演算についても詳しく書いてある

- 4章までアーキテクチャの説明
- 5章は命令の個別の説明で、これも興味深い

ベクトル雑談

- 姫野氏
  - CRAYで遊んでいた
  - ビジュアライゼーション
  - A0サイズのプロッタ
    - 一枚に何コマも作図(作画)
  - 紙をコマ撮り

URL

- CRAY X-MPなどのマニュアルがフリーに

http://www.bitsavers.org/pdf/cray/

HR-0032_CRAY_X-MP_Series_Model_22_24_Mainframe_Ref_Man_Jul84.pdf

-

http://www.takeoka.org/~take/supercom/cray-xmp.html

CRAY X/MPの命令一覧表の和訳

http://www.takeoka.org/~take/supercom/cray/cray-inst.html