

5D-10

URRアーキテクチャおよび  
コンパイラの試作

菊池 純男 長坂 充 橋本 博幸 和田 健一

(日立製作所 中央研究所)

1. はじめに

万能実数値表現法URR(Universal Representation of Real numbers)は、当所浜田穂積氏が提案する、新しい計算機内部数値表現形式<sup>1,2</sup>である。現行のMシリーズ形式は、指数部と仮数部を表現するビット長が固定であるため、限られた値域しか表現できない。一方、URRは、数値の大きさによって、指数部と仮数部の長さが可変になる性質を持つ。その結果、事実上、オーバーフロー、アンダフローが発生しない、1の周辺でMシリーズ形式より高精度である、などの特徴を持つ。

当所では、広範な問題への適用を通してURRの有効性を評価するため、汎用大型計算機M680H上に、技術計算の80%を占めるといわれる、FORTRANプログラムからURRが利用できる実験環境を実現し、初期評価を行った。

本発表では、URRアーキテクチャとその実現方式、FORTRANコンパイラの実現方式および実問題を中心とした十数事例への適用結果について報告する。

2. URRアーキテクチャと実現方式

2.1 URRアーキテクチャ

(1) 演算指定方式

URR専用命令を新設する方式を採用した。これにより、OSの変更も伴わず、URRを利用しないユーザとの混在が可能であると共に、同一プログラムでも現行形式とURR形式との混在を可能とした。

(2) 命令形式と種類およびデータ形式

新設したURR命令は表1の27命令であり、命令形式は、図1に示すレジスタ・レジスタ間命令形式である。レジスタ・メモリ間命令はサポートしていない。レジスタ・メモリ間のデータ転送には、従来のLoad, Store命令を共用する。

URRのデータ形式は、その定義から任意長にて

きるが、URR命令で用いるURRデータは固定長とし、図2に示す、32ビット単精度表現と64ビット倍精度表現とした。

(3) 丸め処理

IEEE規格<sup>3</sup>のRN(Round to Nearest)方式を採用した。指数部と仮数部は、同じ処理方式で丸めを行っている。

その他、URRには6種の実数値が存在するが、URRの体系を崩さないために、すべての演算にこの実数値を含める仕様とした。

2.2 実現方式

実現方式の検討に当たっては、URRの利用環境の早期実現とアーキテクチャ評価のために命令仕様の変更が容易であることを優先した。そこで、既存

表1 新設命令種別

命令種別	数
四則演算	8
比較・判定	4
絶対値・符号反転	6
データ長変換	1
現行形式との相互変換	4
指数部・仮数部の分離結合	4
合計	27

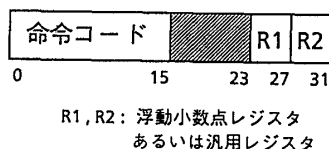


図1 URR命令形式

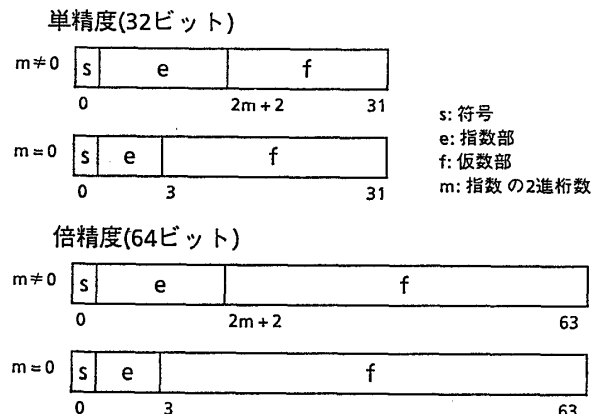


図2 URRデータ形式

のハードウェアが使え、命令仕様の変更にも容易に対応できるマクロコード方式を採用した。

### 3. FORTRAN コンパイラ実現方式

#### 3.1 仕様

通常の FORTRANプログラムをURRで実行可能にする指示は、コンパイル時のオプションで行う。オプションを指定しなければ、現行形式で実行されるオブジェクトプログラムを生成する。

言語仕様の拡張は行わず、以下の仕様を前提とした。

- (a) 外部手続きは、URR形式インタフェースとする。
- (b) 数値計算ライブラリは現行形式インタフェースとする。
- (c) READ, WRITEインタフェースは現行形式とする。

#### 3.2 コンパイラ実現方式

今回試作したシステムでのURR演算の実行形態を図3に示す。URRでの演算は、すべて関数を介して実行する方式を採っている。コンパイラは、内部中間コードに対し、すべての実数演算を関数呼び出し形式に変換する処理を行い、関数呼び出し形式のオブジェクトプログラムを生成する。試作コンパイラは、通常の FORTRANコンパイラに上記変換処理を付加した構成である。

### 4. 適用結果

表2に試作システムでの適用結果を示す。適用事例は、いずれも実問題中心であり、既存のプログラムに一切修正を加えていない。精度比較は、#3は解析解、他は現行形式4倍精度での実行結果と行ったものである。

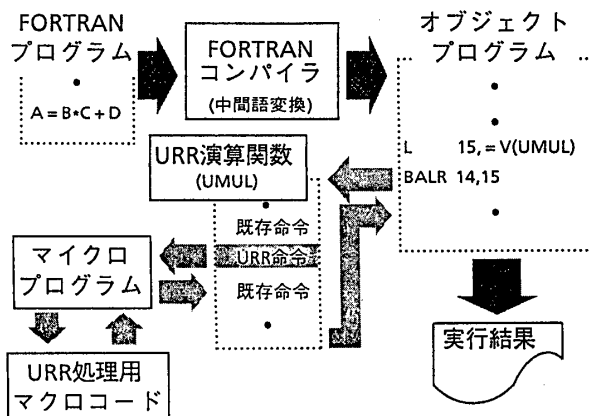


図3 URR演算実行形態

まだ、初期評価の段階であるが、これらの結果から次のような知見が得られた。

- (1) アンダフロー、オーバフロー解消効果
  - ・アンダフロー解消による実行、結果確認(#2)
  - ・アンダフロー、オーバフロー抑止スケール不要による記述性向上(#2)
  - ・オーバフロー解消による精度向上(#3)
- (2) 実行結果の精度
  - ・多くの事例で、1~2桁向上(#6、7)

### 5. おわりに

URRアーキテクチャおよび FORTRANコンパイラを試作し、汎用大型計算機 M680H上にURR利用環境を実現した。試作システムを用いて、実問題を中心とした十数例にURRを適用し、URRの有効性を確認した。

今後の課題は、適用事例を増やし、URRの評価を推進するとともに、URR命令のハードウェアによる高速化を始めとした、システムの実行性能向上を図ることである。

#### 参考文献

- (1) 浜田穂積：2重指数分割に基づくデータ長独立実数値表現法Ⅱ；情報処理学会論文誌，Vol.24, No.2, Mar 1983
- (2) 浜田穂積：数値表現URRの評価；コンピュータソフトウェア，Vol.1, No.3, 1984
- (3) Stevenson, D. et al. : A Proposed Standard for Binary Floating-Point Arithmetic, Draft 8.0 of IEEE Computer, Vol.14, No.3, Mar 1981

表2 適用結果

#	適用事例	実行可否		精度(10進桁数)	
		現行形式	URR形式	現行形式	URR形式
1	MIE 散乱問題 ・スケールあり	○	○	6	6
2	#1と同一問題 ・スケールなし (除算例外)	×	○	—	6
3	2重指数関数積分 他1題 (区間限定)	△	○	1~8	14~15
4	不純物拡散問題 他1題 ・スケールあり	○	○	5~6	4~5
5	#4と同一問題 ・スケールなし (情報落ち)	×	×	—	—
6	非定常熱拡散問題 他4題	○	○	4~5	6~7
7	定常磁場解析問題 他2題	○	○	3~4	3~5