

16ビットマイクロコンピュータHD68000用 高級言語S-PL/HとFORTRANの開発

Development of High Level Languages S-PL/H and FORTRAN for 16bit Microcomputer HD68000

16ビットマイクロコンピュータHD68000のプログラム作成効率向上のため、高級言語S-PL/HとFORTRANを開発した。S-PL/Hは、数値や文字のほかにビットデータや割込みの処理機能をもつシステムプログラム向き言語であり、8ビット及び16ビットの他のマイクロコンピュータ用の言語と上位互換性をもつ。そのコンパイラは、HD68000上だけでなく大形計算機上でも稼動し、高度に効率化した目的プログラムを生成する。FORTRANは最新のFORTRAN77サブセット規格に従っており、構造化プログラミングや文字処理、倍精度演算の機能をもつ。これらは既に電子交換機や各種の機器制御、一般のデータ処理のプログラム開発に多用され、大きな効果を挙げている。

渡辺 坦* Tan Watanabe
西野秀毅* Hideki Nishino
加藤正道* Masamichi Katô
石川知雄** Tomoo Ishikawa
吉村一馬*** Kazuma Yoshimura

1 緒言

16ビットマイクロコンピュータHD68000¹⁾は、16Mバイトのアドレス空間をもち、アーキテクチャ的には32ビットマイクロコンピュータとも呼ぶべき高機能、高性能のマイクロコンピュータであり、機器制御などのほかに、電子交換機やパーソナルコンピュータ、オフィスオートメーションなどへの広い用途をもっている。

これらの分野では迅速なプログラム開発が要求され、その規模も要求の多様化、高度化に伴って大形化してきている。したがって、プログラム作成を容易にする手段の開発が強く望まれる。これにこたえるため、HD68000に対しては、従来のアセンブリ言語よりも生産性の格段に高い高級言語の開発を重点的に進め、早くからそれらを提供してきた。

高級言語としては、機器制御や電子交換機のソフトウェアなどのシステムプログラムに適したS-PL/H(Super Programming Language for Hitachi Microcomputer System)^{2),3)}と、技術計算用に最もなじみの深いFORTRAN、及び構造化プログラミングなどの新しいプログラミング方式に適したPascal⁴⁾がHD68000で利用できる。

本論文では、S-PL/HとFORTRAN⁵⁾について、その言語機能とコンパイラ実現方式、及び適用結果の例について述べる。

2 開発方針

プログラミング言語では、プログラムの流用や言語の普及の点から、

- (1) 多数の人が使う標準的言語であること。
 - (2) 一貫したソフトウェア体系を成していること。
- が非常に重要である。S-PL/HとFORTRANの仕様設定に当たっては、これらを最重点項目とした。

マイクロコンピュータのシステム記述用言語として、日立製作所では既に8ビットマイクロコンピュータHMCS6800用にPL/H⁶⁾を開発した。他の機種用にはインテル社のPL/MやPL/M-86⁷⁾がある。S-PL/Hの言語仕様は、PL/H及びPL/M-86を包含する形にし、それらの言語で書かれたプログラム

の流用を図れるようにするとともに、記述力の強化を行なった。その関係を図1に示す。

FORTRANについては、新しく定められたFORTRAN77サブセット規格⁸⁾に従うことにしたが、図2に示すように、上位規格であるFORTRAN77の機能のうち、利用度の高いものは取り入れることにした。

高級言語で書かれたプログラムを、機械命令の列としての目的プログラムに翻訳するのがコンパイラであるが、その方

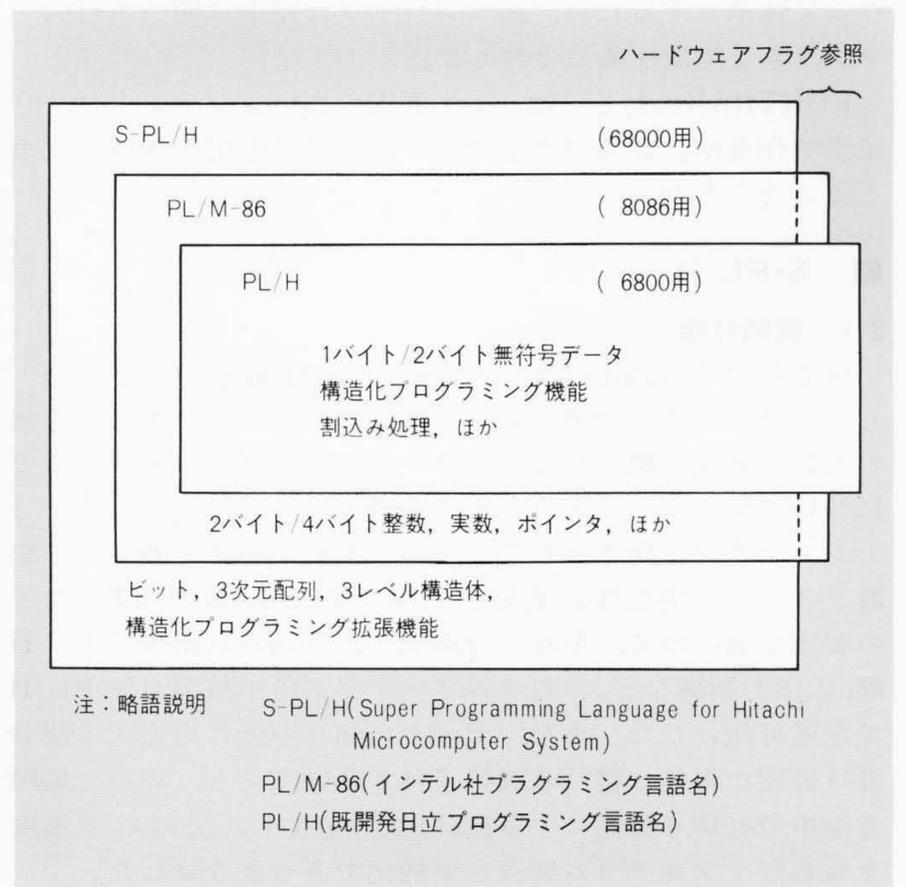


図1 S-PL/H言語の位置づけ HD86000用S-PL/Hは、HMCS6800用PL/H及びインテル社8086用のPL/M-86と上位互換性をもつシステムプログラム用高級言語である。

* 日立製作所システム開発研究所 ** 日立製作所武蔵工場 工学博士 *** 日立マイクロコンピュータエンジニアリング株式会社

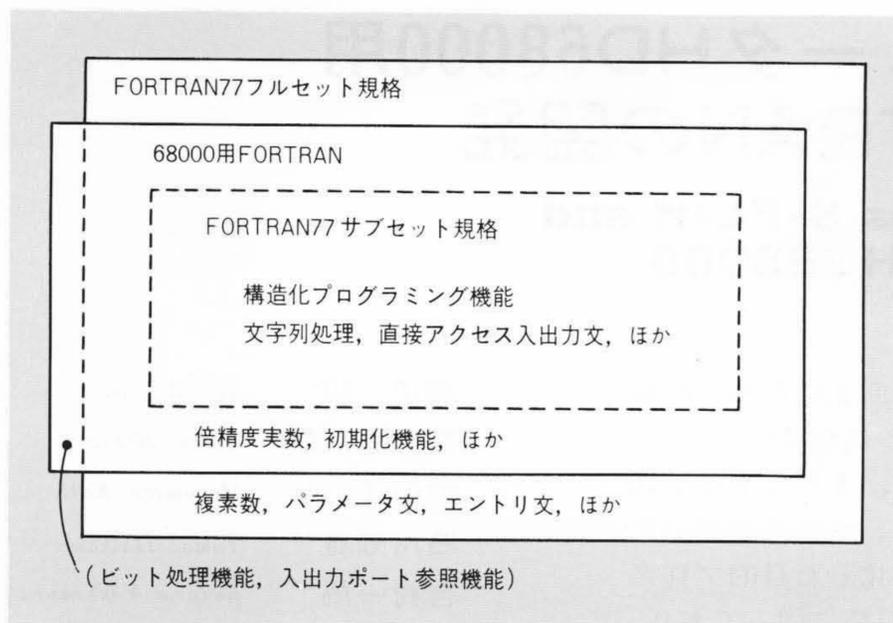


図2 HD68000用FORTRANの位置づけ HD68000用FORTRANは、最新のFORTRAN77サブセット規格を完全に包含し、制御プログラム向きに機能を強化した言語である。

式として、対象とするマイクロコンピュータ上で機械命令を生成するレジデントコンパイラ方式と、大形計算機などの他の計算機を使って機械命令を生成するクロスコンパイラ方式がある。レジデントコンパイラは、安価な装置の上で使え、コンパイル後に目的プログラムを直ちにテストできるのが長所である。大形計算機によるクロスコンパイラは、コンパイル速度が速く、大形計算機上の豊富なプログラミングツールと大容量ファイルを利用できることが長所である。

S-PL/Hに対しては、対象とするシステムプログラムは、大規模なものも多くなると予想し、レジデントコンパイラと、日立製大形計算機HITAC Mシリーズ上で動くクロスコンパイラの双方を開発することにした。そして、一貫したソフトウェア体系とするため、両コンパイラは完全に同一の目的プログラムを生成することにした。

FORTRANに対しては、まず要求の高いレジデントコンパイラを作るが、容易にクロスコンパイラに転用できる方式をとることにした。

3 S-PL/H

3.1 言語仕様

S-PL/Hの言語仕様は、PL/HとPL/M-86を包含する形とし、細部に至るまでそれらと仕様を合わせた。ただし、機械の差異が表現に現われるハードウェアフラグの参照機能などについては、ごく一部であるが言語上の差異がある。

システム記述向きとしては、ビット形データと32ビット整数、3レベル構造体、並列制御用のTESTANDSET文などの要求が強いので、それらを追加し、割込み制御やタスク管理、入出力制御など、システムプログラムの中核部もS-PL/Hで記述可能にした。また、データの個々の値に対応する場合分け処理が単純に書ける選択子付きCASE文と、繰返し処理を途中で打ち切り可能にするEXIT文を追加し、分岐の多重度を減らしてプログラム構造を単純化できるようにした。

表1に、S-PL/Hの言語機能の一覧を示す。

3.2 目的プログラムの実行方式

マイクロコンピュータは、そのプログラムを読み出し専用メモリROM(Read Only Memory)に入れて、制御の対象とする装置に組み込んで使うことが多い。ROMに入れたプログラムは、従来、その実装番地が固定されていたので、汎用的な

表1 S-PL/H言語機能 S-PL/Hは数値や文字ばかりでなく、ビットデータや割込みに対する処理機能も備えた、構造化プログラミングに適するシステムプログラム向き言語である。

項目	仕様	
データ要素の型	INTEGER, LONG INTEGER, BYTE, WORD, REAL, BIT, POINTER	
変数属性	3次元配列, STRUCTURE, BASED, INITIAL, DATA, AT, PUBLIC, EXTERNAL	
演算子	+, -, *, /, MOD, =, <>, <, <=, =>, >, OR, AND, XOR, NOT, PLUS, MINUS, @	
基本文	代入文	単純, 多重, 埋込み
	制御文	CALL, RETURN, GO TO, EXIT, 空文
	機種依存文	ENABLE, DISABLE, HALT, TESTANDSET
条件文	IF THEN ELSE	
DOブロック	DO WHILE, 反復DO, DO CASE, 単純DO	
手続き属性	内部, PUBLIC, EXTERNAL, REENTRANT, INTERRUPT	
入出力	INPUT, OUTPUT, INWORD, OUTWORD	
スタック制御	STACKPTR, USTACKPTR	
マクロ機能	LITERALLY	
組込み関数	43種	
ハードウェアフラグ	CARRY, EXTENDED, ZERO, SIGN, OVERFLOW	
PL/H上位互換機能	ADDRESS, ->	
省略形予約語	ADDR, DCL, EXT, INIT, LIT, PROC, STRCT	

プログラムでもROM化はアプリケーションごとに行なわなければならない。しかし、S-PL/HではROM化した後も実装番地を変えられる動的再配置方式を開発したので、プログラムパッケージを、使う装置の状況に合わせて実装番地を変えられるROMとして提供できる。これは、形のないソフトウェアを形のある半導体として提供する、いわゆるソリッドステートソフトウェアを実現するものである(図3)。

3.3 コンパイラの実現方式

マイクロコンピュータのプログラムは、小さい装置で動かせるようにするため、所要記憶容量の少ないことが強く要求される。また、機器制御などのため、高速性が要求される。この要求にこたえるため、S-PL/Hでは目的プログラムの高性能化を強力に進め、プログラムの所要メモリ量と実行時間の短縮を図っている。

目的プログラム高性能化のために、共通式の削除や添字計算の効率化、コンパイル時に値の求められる計算のコンパイル時実行、細かな場合分けによる効率の良い命令の利用など、多数の効率化処理を行なっている。高速なレジスタの有効利用のためには、各レジスタ中のデータが将来何回参照される

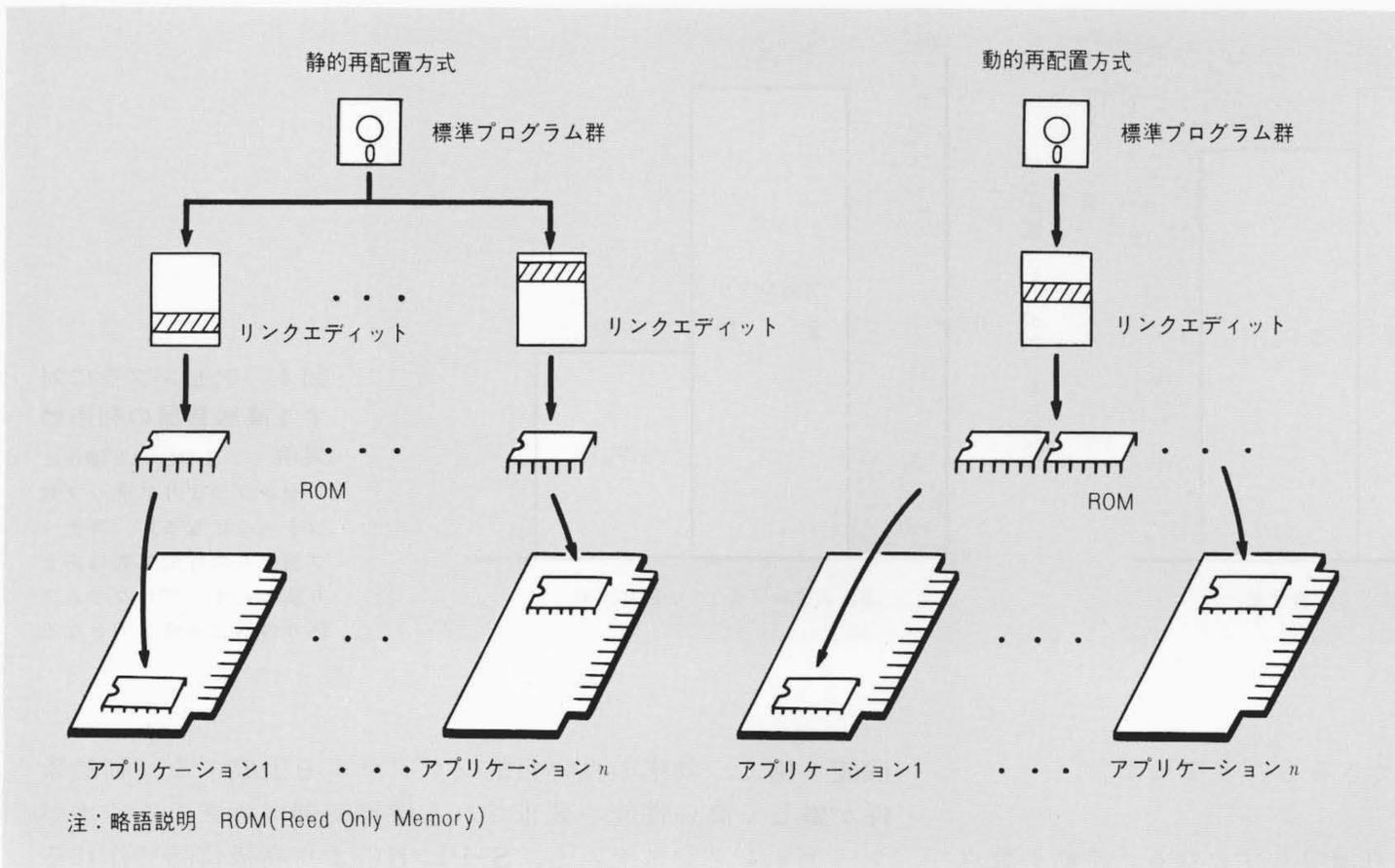


図3 動的再配置によるソリッドステートソフトウェアの実現 S-PL/Hでは、プログラムをROM(読出し専用メモリ)に入れたあともその実装番地を変えられる動的再配置方式をとっているため、半導体メモリに入れた形で提供するプログラムを作れる。

表2 S-PL/Hにおける目的プログラム効率化 S-PL/Hコンパイラは、生成する目的プログラムの効率を40%前後自動的に向上させる機能を実現している。

プログラム例	ステップ数	目的プログラムの大きさ		効果比率 ($\frac{a-b}{a} \times 100$)
		効率化以前(a)	効率化以後(b)	
A	1,105	12,734バイト	7,766バイト	39%
B	1,175	14,540バイト	7,108バイト	51%
C	172	3,742バイト	2,180バイト	42%
D	683	6,380バイト	3,972バイト	38%
合計	3,135	37,396バイト	21,026バイト	44%

かを解析して、参照頻度の高いデータをレジスタに残す方法を考案し、組み込んでいる。その結果、表2に示すように、目的プログラムの大きさを約40%自動的に削減している。実行時間の自動短縮量もほぼ同程度であり、この種のコンパイラとしては非常に高水準の目的プログラム高効率化を図っている。

クロスコンパイラとレジデントコンパイラを同一仕様で同時に開発するため、コンパイラはHITAC MシリーズとHD

68000で共通に使える高級言語で書くことにした。この方針のもとに、入出力などに関する一部の処理を除き、コンパイラのほとんどの部分を高級言語Pascalで書いた。これにより、クロスコンパイラ開発後、約1箇月でレジデントコンパイラを開発できた。また、両コンパイラのいずれを使っても全く同一の目的プログラムを生成できるようにし、プログラム開発の前半ではコンパイル速度の速いクロスコンパイラを使い、後半ではテストに便利なレジデントコンパイラを使うなどの使い分けを容易にしている。

表3に、S-PL/HとFORTRANのコンパイラ仕様を示す。

4 HD68000用FORTRAN

4.1 FORTRANの仕様

既に述べたように、HD 68000用FORTRANの仕様は、FORTRAN77サブセット規格に従って定めたが、倍精度実数と初期値設定機能(BLOCK DATA)は有用度が高いので追加した。また、マイクロコンピュータではFORTRANでも制御用のプログラムを作ることが多いとみて、ビット処理機能と入出力ポートによる入出力機能を組み込み副プログラムとして追加した。目的プログラムは、並列処理に向くように、再入可能(Reentrant)な構造とした。その結果、HD68000用FORTRANは、技術計算だけでなく、一般のデータ処理や制

表3 68000用高級言語のコンパイラ諸元 コンパイラはマイクロコンピュータの上で再配置可能、再入可能な目的プログラムを生成する。S-PL/Hには大形プログラムの開発に効果的なクロスコンパイラがある。

項目	S-PL/H		68000用FORTRAN
	クロスコンパイラ	レジデントコンパイラ	
ホストマシン	プロセッサ	HITAC Mシリーズ, IBM 370シリーズ	HD68000
	コンパイラ使用メモリ	512kバイト	128kバイト
	補助記憶装置	磁気ディスク	フレキシブルディスク2台(計1Mバイト)
オブジェクト形態	再配置可能, 再入可能, 動的再配置可能	同左	再配置可能, 再入可能
コンパイラ記述言語	Pascal	同左	同左

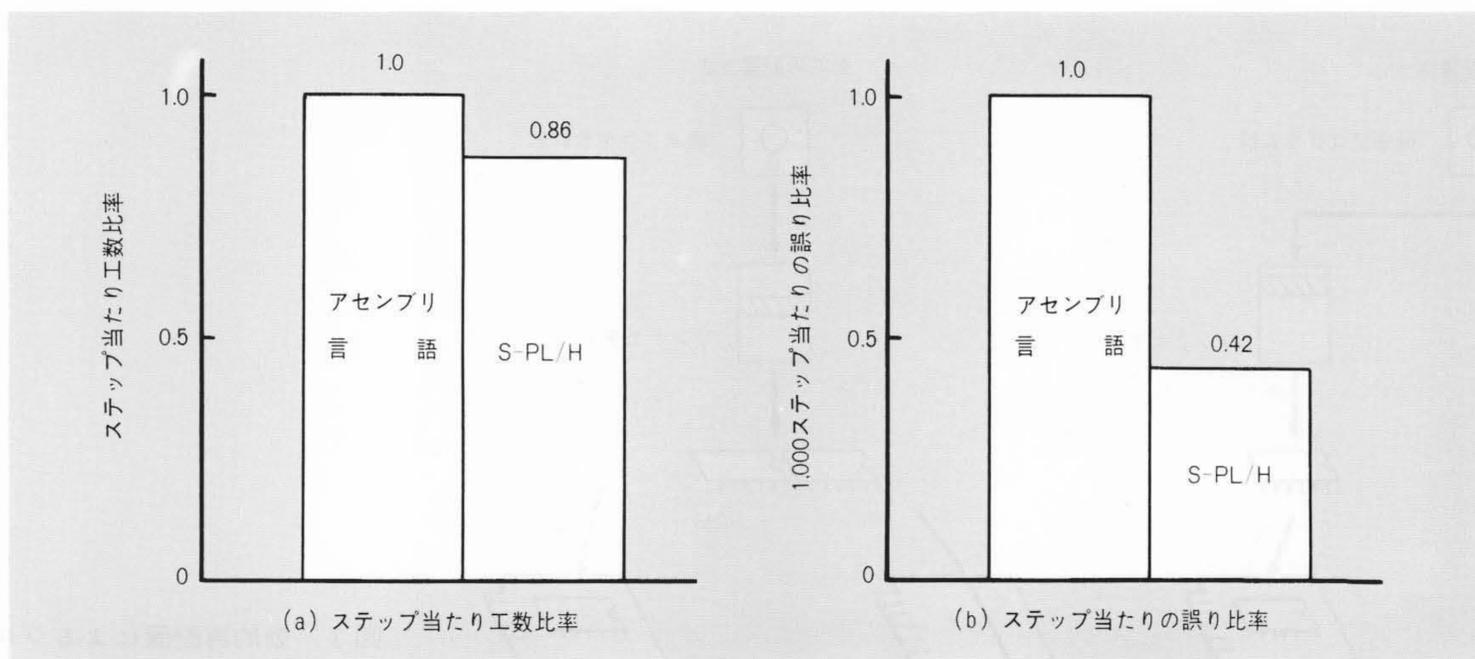


図4 アセンブラに対する高級言語の利用効果例 S-PL/Hを使うとアセンブラよりステップ数は $\frac{1}{2}$ ～ $\frac{1}{3}$ になるが、ステップ当たりの作成工数はあまり変わらず、プログラムの誤り件数は半分以下となる。

御プログラムの記述にも適用できるものとなった。

4.2 コンパイラの実現方式

FORTRANでは、浮動小数点演算が主となる。浮動小数点には種々の表現形式があるが、本FORTRANでは、国際標準の厳密な遵守を基本方針とし、IEEE(The Institute of Electrical and Electronics Engineers)で定めた標準規格⁹⁾の32ビット表現と64ビット表現を採用した。その演算方式や丸めの方法も標準規格に厳密に従った。

プログラム作成の効率を上げるには、コンパイラの使いやすさが重要となる。FORTRANではこれを重視し、入力プログラムの文法誤りの検出を充実して300種以上の適切な診断メッセージを出すようにした。また、文法誤りの予想されるプログラムに対しては文法チェックだけを行なう指定を設け、コンパイル時間を削減できるようにした。

5 高級言語の利用効果

S-PL/HとFORTRANの開発により、HD68000のプログラム開発は著しく容易となった。特に、S-PL/Hは完成と同時に電子交換機のプログラム開発¹⁰⁾やオペレーティングシステムの開発に多用されるようになり、その量は、コンパイラ開発後1年足らずの間に数十万ステップにも達し、ますます急増している。

図4は、同種の機器制御プログラムをアセンブリ言語で作った場合とS-PL/Hで作った場合との比較例である。S-PL/Hの1ステップはアセンブリ言語を使うと2～3ステップとなるが、ステップ当たりの作成工数はほぼ同じなので、S-PL/Hでは作成効率が著しく向上するといえる。同図(b)は単体デバッグ以後の工程で検出された誤りの件数を比較したものであり、S-PL/Hを使うと誤りが半分以下に減ることを示している。

この例で分かるように、高級言語を使うとプログラムの作成効率と品質が大幅に向上する。高級言語では、設計やデバッグ、ドキュメンテーションの支援ツールも高度のものが作れる。S-PL/HやFORTRANに対してもこれら各種のツールを開発しており、プログラムの作成や保守、改造の効率は更に向上できるようになる。

6 結 言

16ビットマイクロコンピュータでは、プログラム開発量の急増に伴い、高級言語が極めて重要な役割を果たす。HD68000用に開発したS-PL/Hは、システムプログラム向きの高度な

機能を備え、効率の良い目的プログラムを生成する。制約条件が厳しく高い性能の要求される機器制御プログラムやオペレーティングシステムも、S-PL/Hにより高級言語で作れるようになった。また、レジデントコンパイラのほかにクロスコンパイラを開発したことにより、大形プログラムの開発も効率良く行なえるようになった。

HD68000用FORTRANは、数年前には大形計算機のFORTRANにもなかった構造化プログラミングや文字処理、ビット処理の機能を備え、広範囲の適用分野をもつに至った。

S-PL/HとFORTRAN, Pascalにより、HD68000のプログラム開発は、システムプログラムや技術計算、オフィスオートメーションなどのあらゆる分野で、高級言語を使って効率良く行なえるようになった。また、これらの言語は標準的仕様に厳密に合わせる方針のもとに開発されており、他のマイクロプロセッサとの間でプログラムの高い移行性を実現できる。

参考文献

- 1) 禿, 外: 16ビットマイクロプロセッサ, 丸善株式会社, (1981)
- 2) 神野, 外: 16ビットマイクロコンピュータ68000用高級言語S-PL/Hの開発, 情報処理学会第17回マイクロコンピュータ研究会(1981-7)
- 3) 西野, 外: 16ビットマイクロコン68000用Super PL/Hコンパイラにおける目的語実行方式について, 情報処理学会第22回全国大会論文集(1981-5)
- 4) K. Jensen, et al.: Pascal User Manual and Report, Springer-Verlag(1975)
- 5) 加藤, 外: 異種言語のコンパイラにおけるコード生成フェイズの共用化, 情報処理学会第22回全国大会論文集(1981-5)
- 6) 吉村, 外: マイクロコンピュータ用高級言語PL/Hシステム, 日立評論, 61, 4, 307～310(昭54-4)
- 7) Intel Corp.: PL/M-86 Programming Manual, Intel Corp., (1978)
- 8) American National Standard Institute: American National Standard Programming Language FORTRAN, ANSI, X3.9-1978(1978-4)
- 9) D. Stevenson et al.: A Proposed Standard for Binary Floating-Point Arithmetic, Draft 8.0 of IEEE, Computer, 14, 3, 51～62(1981-3)
- 10) 黒崎, 外: 通信用ソフトウェア生産技術の高度化, 日立評論, 64, 3, 171～174(昭57-3)