

氏名	くに えだ よし とし 國 枝 義 敏
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 2450 号
学位授与の日付	平 成 3 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	自 動 ベ ク ト ル 化 Pascal コンパイラに関する研究

(主 査)  
論文調査委員 教授 津田孝夫 教授 松本吉弘 教授 矢島脩三

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、V-Pascal (Version 1) と名付けたベクトル・スーパーコンピュータ用自動ベクトル化 Pascal コンパイラについて、その設計と実現に際し行った研究についてとりまとめたもので、9章から成っている。

第1章は緒論で、ベクトル計算機の発達と普及についてふれ、V-Pascal コンパイラの開発の動機について述べている。

自動ベクトル化技術は、ベクトル計算機のアーキテクチャと密接な関係にあり、第2章では、その視点から国産各機種について概観している。

第3章は、自動ベクトル化技術の現状を総括したもので、ベクトル化と依存関係、現在の自動ベクトル化の対象と制約について述べている。

第4章は、著者が設計・開発したV-Pascal コンパイラの構成について述べている。コンパイラ全体のフェーズ構成やモジュール構成を示し、そのそれぞれについて詳しく論じている。識別子、型、定数を登録するための各種の表、中間コード、コントロールフロー・グラフ、プライマリ・セット、D行列（依存行列）を表現するためのデータ構造について述べ、それらがコンパイル処理の進行とともに、どのように更新されるかを示している。そのほか本章では、構文/意味解析、コントロールフロー解析、大域的データフロー解析および最適化が、V-Pascal でどのように行われるか述べている。

第5章と第6章は、本論文の主要な部分で、V-Pascal コンパイラが持つ、他のコンパイラと異なる新しい特長を示している。

第5章は、著者が独自に開発した依存関係解析法について述べたもので、多重ループにまたがる配列要素の依存関係を解析するための厳密な、しかも、効率のよい複合アルゴリズムについて論じている。また制御依存解析法についても、大域的データフロー解析と同じ枠組みで、それと同時にを行うコストの低い新しい方法を提案し、それを実現したことについて述べている。

第6章は、ベクトル間接参照命令を用いて多重ループ全体を等価な1重ループに変換し、ベクトル化を

行う V-Pascal コンパイラの新しい方法について述べている。そのほか、網目構造を持つ複雑な制御文の if-then-else 型への変換、依存情報にもとづく D 行列処理、それによるベクトル化可否の判定などが本章の内容となっている。ベクトル化のための配列化、ループ選択、ループ構造および制御構造の再構成、ループ間にまたがる中間項の配列化など最適ベクトル化の手法と、実際上重要な部分ベクトル化について論じている。

第 7 章は、V-Pascal コンパイラの目的コード生成部がその内容となっている。まず実行環境として、データ領域、コード領域、ファイル管理、ユーザプログラムの目的コードの構造について述べ、それに続いて、実現されているベクトル処理部における各レジスタ割付け、ベクトル命令の生成について述べている。最後にスカラ命令の生成についての記述がある。

第 8 章は、コンパイラ V-Pascal Version 1 の性能評価の結果を示したものである。FFT のバタフライ演算部分と行列の転置を二つの実例として、その Pascal プログラムを V-Pascal に入力して得られた目的コードの実行速度と、それらと同等の Fortran プログラムをベクトル化した目的コードの実行速度を東京大学大型計算機センターの S-820/80 上で実測して比較している。その結果、V-Pascal の生成する目的コードの方が、3 倍以上高速実行されることが示された。これは、通常の Fortran コンパイラが最内側ループのみしかベクトル化しないのに対して、V-Pascal は、これらのプログラムの 2 重ループを全体としてベクトル化することによるものである。そのほか、if 文を含む多重ループについても同様に、V-Pascal コンパイラで処理した目的コードの方がメーカ提供の Fortran コンパイラによるものより 3 倍から 4 倍高速実行されることを実測により示している。

第 9 章は、結論をとりまとめたものである。

### 論文審査の結果の要旨

ベクトル・スーパーコンピュータのハードウェア性能を十分に引出せるかどうかは、その基本ソフトウェアである自動ベクトル化コンパイラの能力に直接依存している。

本論文は、プログラミング言語 Pascal で書かれたプログラムをベクトル化対象として、著者が中心となって開発した自動ベクトル化コンパイラ V-Pascal (Version 1) について述べたものである。得られた主な成果は次の通りである。

1. ベクトル間接参照命令を用いて、多重ループを 1 重化し、その多重ループ全体をベクトル化する方法を確立した。これにより、最内側ループのみしかベクトル化しないメーカ提供の Fortran 自動ベクトル化コンパイラに比し、V-Pascal は、より長いベクトル長の目的コードを生成し、実機上で 3 倍以上それが高速に実行され得ることを実証した。
2. 多重ループ全体にわたる配列変数の厳密で、かつ實際上効率のよいデータ依存解析法を提案し、コンパイラ中に実現した。
3. 大域的データフロー解析と同時に、同じ枠組みで実行可能な、低コストの新しい制御依存解析法を考案し、コンパイラ中に実現した。
4. 各社提供の異機種ベクトル・スーパーコンピュータをターゲットマシンとするため、コンパイラの機

械依存部を十分小さくできるように、とくに中間コードを設計し、実現した。

以上要するに、本論文は、スーパーコンピュータにおいてとくに重要な自動ベクトル化コンパイラに関し、基礎的な研究を行い、実際にソフトウェアとして実現して、着想の有用性を実証したものであって、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は、工学博士の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成3年1月10日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。