

2009. 10

特集号



(題字：相良祐輔学長)

# 国立大学法人 高知大学学報

## 高知大学学位授与記録第三十六号

総務課広報室発行

本学は、次の者に博士（理学）の学位を授与したので、高知大学学位規則第15条に基づき、その論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

\*\*\*\*\*  
 \*  
 \*  
 \*  
**高知大学学報**  
 \*  
 \*  
 \*  
 \*\*\*\*\*

本学は、次の者に博士（理学）の学位を授与したので、学位規則（昭和28年文部省令第9号）第8条の規定に基づき、その論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

**目 次**

学位記番号	氏名	学位論文の題目	ページ
甲理博第30号	張 鑫	Very Quick Placement Algorithm for VLSI Physical Design Prediction (VLSIの物理設計推定のための超高速配置法の研究)	1

学位記番号	氏名	学位論文の題目	ページ
乙総科博第4号	柴田 伊廣	アウトオブシーケンススラストに関連した付加体年代学	3

<small>ふりがな</small> 氏名 (本籍) 学位の種類 学位記番号 学位授与の要件 学位授与年月日 学位論文題目  発表誌名	<small>ちょう しん</small> 張 鑫 (中国) 博士 (理学) 甲理博第30号 学位規則第4条第1項該当 平成21年9月18日 Very Quick Placement Algorithm for VLSI Physical Design Prediction (VLSI の物理設計推定のための超高速配置法の研究) (1) International Conference on IC Design and Technology, Austin, Texas, USA, May 19, 2009. (2) International Symposium on Digital Life Technologies, Tainan, Taiwan, May 28, 2009. (3) Journal of Shaanxi University of Science & Technology, Vol. 26, No. 2, pp. 6-11, 2008. (4) The 2006 Shikoku-section Joint Convention of the Institutes of Electrical and related Engineers. 17-8 (27. Sep. 2006)  審査委員 主査 教授 豊永 昌彦 副査 教授 村岡 道明 副査 教授 逸見 豊
--	--

### 論文の内容の要旨

Placement is one of the most important steps in the VLSI design process, as it directly defines the interconnections. Research in placement algorithms for VLSI circuits has enjoyed a renaissance in recent years. At present, there are a number of high quality academic placers that have been developed in universities. The amount of research on this topic clearly reflects the importance of the placement as the single most critical component for achieving timing/design closure in a modern physical synthesis tool. In this thesis, we present three novel algorithms in placement field.

Firstly, I proposed AKEBONO - a very quick incremental placement algorithm for performing Engineering Change Order (ECO). AKEBONO consists of two stages: first is an iterative net-driven standard-cell placement with hierarchical partitioning, second is a legalization to fit rows and to remove overlaps. As a radix-like sort algorithm is applied to AKEBONO, the total time complexity of it is  $O(n)$ . Experimental results on ISPD04 IBM standard cell benchmark suite show that run time of AKBONO is 30x faster than the state-of-the-art academic placer Capo 10.5 legalizer with Greedy and Row-Ironing on average. Though Capo 10.5 legalizer generally increases HPWL by 9.4% while the proposed placer produces an increase of 13.8%, however I will claim that AKEBONO provides even and practical placement results.

Secondly, I proposed a novel basic-pre-clustering clustering algorithm called Cell Merge which can reduce effectively the circuit size. The algorithm has proven a linear-time complexity of  $O(n)$ , where  $n$  is the number of nets in a circuit. The numerical experiments on ISPD02 IBM-MS mixed-size benchmark suite for placement show that by applying Cell Merge as a processing step, the performance of state-of-the-art placer can be further improved.

Finally, I described a new wire-length estimation algorithm called XIN, which is running in  $O(n)$  time. This method is based on correction of half-perimeter wirelength (HPWL) to make wirelength estimation very fast and good accuracy for low degree nets. Experiments on ISPD04 IBM standard cell benchmark suite show that for XIN, RMST, and HPWL, the average error in wirelength are 1.84%, 4.44%, and -10.32%, respectively referring to FLUTE, and the normalized runtime are 1, 3.24, 0.31, and 3.72, respectively for above four algorithms.

## 論文審査の結果の要旨

本論文「Very Quick Placement Algorithm for VLSI Physical Design Prediction」は、大規模化するLSI設計の設計において、不可欠となるタイミング推定において、もっとも重要な役割を持つ配置設計手法について、高速化する新手法の提案とその応用および検証について研究をまとめたものである。

微細化製造技術にともない、配線物理特性等が回路性能に決定的な影響を及ぼし、その配線距離、形状に影響をおよぼす配置設計では、高速性、配置品質の高さの追求が望まれている。

本論文において、著者は最適化手法を用いた自動配置手法について、回路を外周と内部という2分割法をおこなった新手法、また、接続依存の配置と、分散依存の配置を繰り返し適用する新手法、さらには、再設計によるタイミング推定保障を目指したECO手法について新たな知見を述べている。

本論文の構成は、第1章において研究の背景となるLSI設計の近年の状況の説明、およびこれらにおける配置設計の位置づけについて述べ、高速配置手法の意義を述べている。

第2章は、回路の外部と内部に段階的に分割することによる接続中心の自動配置技術について述べ、同技術が高速性をもち、かつ規則性を持つ回路において十分機能することを実験で解明している。

第3章は、接続性に基づく配置改善法と位置分散に基づく配置改善を繰り返し適用する新手法を提案し、同手法が規則性をもたない一般回路において先行論文等での配置品質と同レベルの結果が得られること、さらには、その処理時間が最短であることを配置評価標準ベンチマーク回路IBMシリーズにより実証している。

第4章は、上記の配置手法の部分再設計手法（ECO手法）への応用研究について述べており、従来に無い高速性と高品質性がECO評価においても機能することを説明している。

本研究に係わる成果は、SJCIEE2006における英語口頭発表1件（IEEE優秀賞）、またLSI設計関連の専門国際学会ICICDT09で査読付き論文2件、情報科学関連国際学会ISDLT09で査読付き論文1件として掲載され、配置手法またECO手法として国内・国際的に評価されている。

以上、本研究は、LSI設計における高速配置手法について新アルゴリズムおよびその応用に関して研究したものであり、配置高速化に関する重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認められる。よって、学位申請者 張 鑫 は、博士（理学）の学位を得る資格があると認める。

ふりがな 氏名(本籍) 学位の種類 学位記番号 学位授与の要件 学位授与年月日 学位論文題目 発表誌名	しばた ただひろ 柴田 伊廣 (福井県) 博士(理学) 乙総科博第4号 学位規則第4条第2項該当 平成21年9月9日 アウトオブシーケンススラストに関連した付加体年代学 (1) Island Arc, DOI: 10.1111/j.1440-1738.2008.00626.x., 2008年6月  <div style="text-align: right;">           審査委員 主査 教授 木下 正高            副査 教授 田部井隆雄            副査 教授 臼井 朗         </div>
--	--

### 論文の内容の要旨

プレート沈み込み帯において、海溝軸に陸原堆積物が十分に供給される場合には、その堆積物が沈み込まずに前弧斜面に付加し、付加体が形成される。水平方向の圧縮を受けて、初期には前縁断層群が形成され、堆積物の固結が進むにつれて、プレート境界での引き剥がしや付加体内部での順序外断層 (Out of sequence thrust (OOST)) が構築されると考えられる (例えば Moore et al., 2007)。これに、付加速度の議論ができる精度の年代軸を入れることで、沈み込み帯浅部の物質循環を解く鍵となると期待される。

しかしながら、これまでの付加体年代学は、特に引き剥がし付加と巨大地震を発生させた OOST の関係についての考察が不十分である。これは、付加体に通常用いられる年代手法に限界があるからである。そこで本研究では、堆積年代を精度良く決定し既知の他の年代: ジルコン FT 年代 (星野ほか, 2001) を考慮し、付加体発達を考察することを目的とした。具体的には「年代決定手法の確立」「付加体年代決定」「付加体形成モデル構築」に分けて研究を進めた。

#### 1. 付加体の新しい堆積年代測定法の確立

これまで堆積年代の推定には、微化石や古地磁気などが主に用いられてきた。これらは、層序を詳細に立てられる場合、精度良く年代を決定できる。しかしながら、付加体はその発達による変形や埋没深度による石灰質微化石の溶解などにより、必ずしも正確な値を決定できるとは限らない。

一方、付加体にはジルコン含有する凝灰岩層が数多く挟在することが知られている。付加体の一般的な温度圧力条件下で、ジルコンは安定である。この局所領域の U-Pb 年代を求めることで、周囲の碎屑岩の堆積年代を精度良く決める事が出来る可能性が高い (Shibata et al., 2008)。

本研究では、微化石や古地磁気により詳細に年代決定がされている年代が既知である凝灰岩層 (鍵層) についてジルコン LA-ICPMS U-Pb 年代測定を行った。そして、精度チェックを行った。

その結果、5 Ma 程度までであれば、十分な精度 ( $\pm 0.1\text{Ma}$ ) と精度で年代測定が出来ることが分った。

#### 2. 付加体への適用

OOST の変位によって隣接する地質帯の堆積年代差を求める。対象は九州四万十帯北川層群と日向層群とした。北川層群は、剥ぎ取り付加によって形成され、OOST によって上昇した地質帯である (村田, 1998 ; Kondo et al., 2005)。北川層群の変成年代は、泥岩中の面構造に成長した白雲母を用いた K-Ar 法により約 48Ma (Mackenzie et al., 1990) と推定されている。微化石による年代測定は変形が著しいことなどからほとんど報告されていない。

そこで、1 の手法を用いて年代決定を行った結果、北川層群が約 75Ma、日向層群が約 45Ma と推定された。

#### 3. 付加体形成モデル構築

2 によって得られた結果と星野 (2001) を考慮すると、北川層群は 75Ma 前後に堆積し 48Ma 前後に変成を受け、OOST の活動により上昇を始めたと考えられる。一方、日向層群は 45Ma 前後に堆積し、沈み込む。そして、31Ma 頃には OOST の活動が停止し、北川層群と日向層群は削剝により上昇する。

現在の南海付加体や三浦房総付加体からの推定によると数 Ma 前後で急激に付加体が成長すると考えられる。一方、本研究対象である北川層群はそれと異なり、堆積から 20Ma をかけて成長している。付加速度を規制するプレート運動速度 (Clift and Vannucchi(2004)) を考慮すると、成長が南海付加体より緩やかであったことは考えにくい。したがって、北川層群では、南海付加体に比べて大量の堆積物が沈み込んでいたと考えられる。

付加体成長が間欠的であることはこれまでも議論されてきた。本研究では、付加体成長過程に年代尺度を加えることで、陸上の引き剥がし付加において初めてその可能性を示唆した。

## 論文審査の結果の要旨

本研究は付加体を構成するアウトオブシーケンススラスト等について、その形成履歴を推定するために年代を決定する研究を実施したものであり、付加体中の火山灰における、ジルコンのU-Pb年代を高精度・高確度で決定したことについて、重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。それらの成果は、国際学術誌 *Island Arc* (2008) に英文の筆頭論文として発表され、国際学会 American Geophysical Union および準国際学会「地球惑星科学連合」において講演を行った。よって、学位申請者 柴田伊廣 は、博士(理学)の学位を得る資格があると認める。

詳細は以下の通り。

(講評) 本論文の主題は以下の二つである。一つは、レーザーを用いたピンポイントでのジルコンU-Pb法と、より信頼度の高い解析手法である TuffZirc法を、付加体に対して初めて適用し、変形変質が大きくこれまでの手法では年代が決定できなかった付加体の様々な構造区分の年代を決定する目的を立てたことである。このために、既存年代が正確に求められている三浦・房総付加体で同手法を適用して、その精度・信頼度、適用範囲を決定した。その結果、ウラン濃度にもよるが適用限界をこれまでの15Maから5Maまで拡張し、付加体の構造区分ごとの年代を決定することが可能になった。

もう一つは、同手法を陸上の付加体に適用し、その発達史の議論を試みたことである。付加体にはいくつかの段階があるが、そのうちの「剥ぎ取り付加」および「底付け」の痕跡をとどめる牟岐メランジュの6ユニットの年代を決定し、各ユニットの年代にギャップが存在することを発見した。一方、本研究の主要なテーマの一つである、順序外断層(OOST)の運動履歴と断層の上盤・下盤の年代差を求める試みは、必ずしも完了しなかった。その原因を正確に考察し、今後の展望につなげた。研究ではこのような紆余曲折は当然予測されることであり、大切なことはそのような場合にいかに原因を明確にして、次につなげるか、という、正しい研究方法を取ることである。今回の審査では、柴田君はそのような能力も有することが示されたと考える。

このような考察が可能であった背景には、地道な構造調査(巡検)とサンプリング、年代測定と統計解析を自ら十分に行ってきた実績がある。一方、今回のようなテーマを有意義に実施するために、構造地質学の視点を持っていることはきわめて重要である。柴田君は構造地質学の経験が豊富なのは理解できたが、もう少しテクトニクス的な検討、深い洞察が期待される。