

自動制御式プレーシングクレーンを用いた コンクリート打設に関する作業調査

汐 川 孝 永 井 康 淑

Investigation of Construction Productivity in Concrete Work with Placing Crane Equipped with Automatic Control System

Takashi Shiokawa Yasuyoshi Nagai

Abstract

This paper gives an outline of a “Placing Crane Equipped with Automatic Control System” developed as a part of “automation of concrete work” and the results of an investigation of concrete placed by the crane. This equipment has the two functions of concrete distributor and crane, and it is controlled by microcomputer operation and an analog feedback servo system. Therefore, it is capable of doing high-quality work with safety. The results of investigations at the construction site where this equipment was applied were the following: (1) The quality of the concrete structure is improved. (2) Manpower for concrete leveling is saved by about 17 percent. (3) The speed of concrete placement is the same as for the conventional method, but it is possible for this to be improved. (4) Workers are freed from heavy and dirty labor.

概 要

この報告は、コンクリート打設工事自動化の一環として開発してきた「自動制御式プレーシングクレーン」の概要と同機を用いたコンクリート打設作業の作業性調査結果について述べたものである。

開発機は、コンクリート分配機とクレーンの機能を合わせ持ち、かつマイコンとサーボ機構によって自動制御されるため、より安全で、高度な作業を可能としたものである。適用した建築現場での作業調査の結果においても、在来配管方式に比べて、(1) コンクリート躯体の品質が向上する、(2) コンクリートならしの作業工数が約17%減少する、(3) 打設速度は、在来方式と同等であるが、改善が期待できる、(4) 重労働や汚れから解放される、などが明らかになった。

1. はじめに

最近の産業用ロボットをはじめとしたエレクトロニクス関連技術の進歩は著しく、種々の作業を自動化し、高速かつ正確に行なうことが可能となってきた。このため、多品種少量生産の分野から非製造業の分野にまで急速に普及し、生産性の向上、労働災害の防止、品質の安定化や苦渋作業の改善に大きく貢献してきている。同じ問題を抱え、かつ一品生産や現場生産などの特殊性から自動機械などの導入が困難とされていた建設業においても、こうしたエレクトロニクス関連技術の導入やこれらを前提とした生産システムの開発の要請が高まっている。当社では、土木分野へのロボット導入第一号となった「天井PC板取付ロボット」の開発以来、自動化・ロボット

化の研究開発を積極的に進めている。この度、コンクリート打設工事自動化の一環として、コンクリート分配機とクレーンの複合機能を有する「自動制御式プレーシングクレーン」を開発し、都内の某事務所兼研究施設新築工事に適用して、その性能確認を行なってきた。この報告では、その開発の概要および開発機による作業性能の調査結果について述べる。

2. 開発概要

2.1. 開発テーマの選定

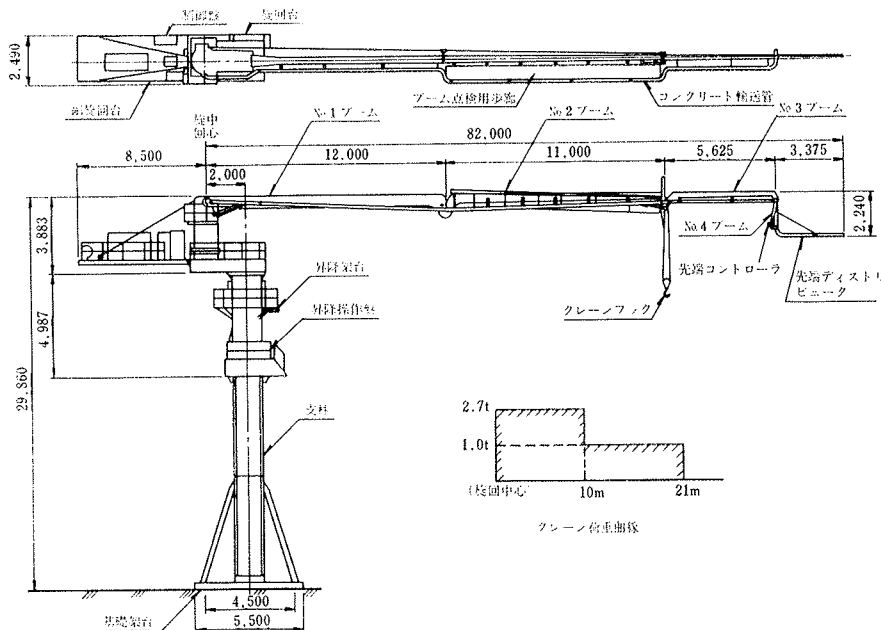
建築生産の中のどんな作業を対象にして、自動化・ロボット化を進めるかは、重要な問題であるため、アンケート方式による調査を行なった。調査は、昭和56年10月頃建築生産に直接関与している部署の担当者を対象に、

建築工事の各作業（約 110 項目）における自動化ニーズを尋ねる形で実施した。この調査結果に、さらに専門的立場から検討を加え、建築工事における幾つかの開発対象を選定、「コンクリート打設工事の自動化」もその一つである。この開発対象について、まず第一にコンクリートの運搬・分配の自動化を取り上げた。

2.2. 開発の方針

建築工事のコンクリート打設には、コンクリートポンプ車による圧送工法が最も多く採用されている。この工法では、打設位置を変えるごとに床型枠上に設置された配管の盛替やフレキシブルホースの振り直しを行なうため、配筋や型枠が乱れる、圧送が中断する、多くの人手がかかる、重労働のうえ汚れるなどの問題があった。これをロボット技術の導入により解消しようとするものである。開発にあたっては、(1) 比較的工事件数の多い RC 造中規模建築物（延床面積 3,000~10,000 m² 程度）を対象にし、(2) 将来のコンクリート打設工事一連の自動化に適用できること、(3) 種々の作業に適用できるように汎用性を高めること、などを基本に検討した。仕様設定において、主に留意した点は、次のとおりである。

- ①配筋・型枠を乱さず、細かな打設を行なうことによりコンクリート躯体の品質向上を図る。
- ②コンクリートのならしや小運搬作業を省力化するとともに、低スランプによる打設を可能とする。
- ③連続打設を行ない、打設能率の向上を図る。
- ④打設作業における重労働や汚れ作業から解放する。
- ⑤1人で運搬・分配の作業ができ、操作も簡単にする。
- ⑥クレーン機能を付加し、機械稼働率を高める。



図一 全体組立図

項目		仕様
ブーム装置	形式	先端ディストリビュータ付 全油圧 4 段屈伸式
	最大長さ	32m
	最大高さ	53m (支柱25m = 5m × 5本)
	旋回角度	400° (有限)
	ディストリビュータパイプ回転角度	140°
自動制御装置	使用輸送管	125 A
	操作方式	自動制御 + 手動遠隔・機内操作 (選択可能)
制御装置	動作	① ブーム先端の任意方向水平直線移動 ② ブーム先端の定点における垂直上下移動 ③ ディストリビュータパイプの水平保持
	制御装置	8 ビットマイクロコンピュータ + サーボ弁
	センサーによる検出箇所	ブーム角度…4 点、旋回スピード…1 点
クレーン装置	揚荷能力	2.7 t × 10m (R), 1.0 t × 21m (R)
	巻取速度	20/24 m/min (50/60Hz)
	電動機	15KW (4 P)
昇降装置	油圧リンダーによるセルフクライミング式	
パワーユニット	電動機 37KW (4 P) 定格油圧 280kg/cm ² 、定格吐出量 60 l/min	

表一 主な仕様

2.3. 開発機の概要

開発した自動制御式プレッシングクレーンの主な仕様を表一に、全体組立図を図一に示す。

開発機は、コンクリート分配 (placing) 機としては、初めてマイクロコンピュータと電気油圧サーボ弁を利用して、32m の油圧駆動 4 段屈伸ブームおよび旋回軸の自動制御運転を可能にしたものである。そして、クレーン (Crane) としての機能を合わせ持つことから、「自動制御式プレッシングクレーン」と称している。

開発機本体は、① 4 段屈伸ブーム部、② 油圧ユニットおよび主制御装置を搭載した旋回台部、③ セルフクライミングの昇降架台部および④ 5 段の支柱部の四つの部分から構成されている。

コンクリート分配機として使用する場合には、ブーム先端部に自動制御装置を取付け、この制御装置のレバーを操作しながらブームと一緒に移動する先端誘導方式やラジコンによるリモート方式など現場状況に合った方法が採用できる。ブームの自動制御には、ブーム筒先のレベルを一定に保ったまま任意の方向に直線的に移動する自動水平移動とブーム筒先の平面的位置を変

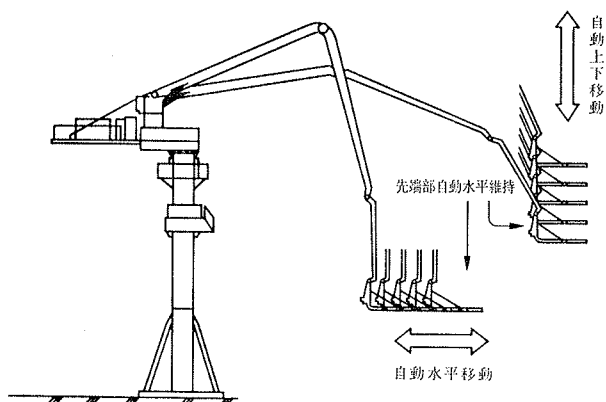


図-2 自動制御運転時の動作

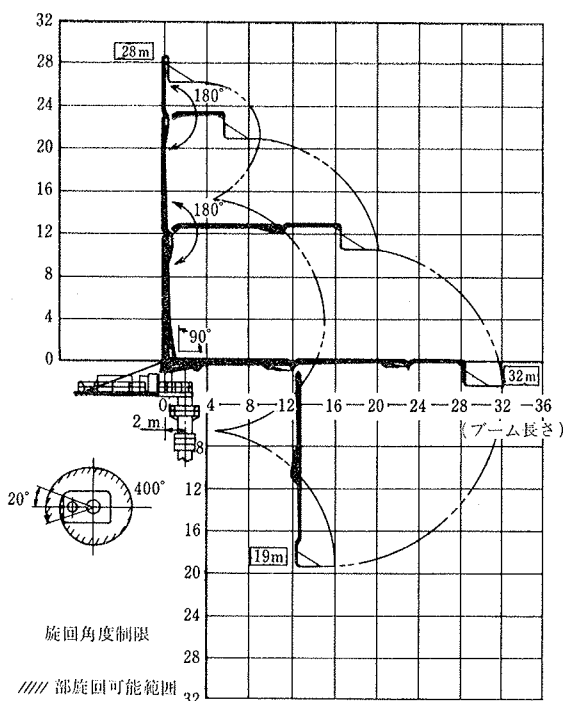


図-3 コンクリート分配時のブーム作業範囲

えずに上下に移動する自動垂直移動がある。なお、この間、先端ディストリビュータは、常に水平に保持されると同時に全体のブームとは独立に水平に±70°回転できる機構を持っている。(図-2参照)これによって、建築物の壁やはり部分に沿ったコンクリート打設など細かな動きが簡単にできる。分配機として使用する場合のブーム作業範囲を図-3に示す。

クレーンとして使用する場合は、No. 3, No. 4 ブームを折りたたみ、No. 1 と No. 2 ブームを伸ばした状態で使う。分配機からクレーンへの段取変えは、約15分程度であり、定格荷重×最大作業半径は、1t×21m および 2.7t×10m の能力を有している。

3. 作業調査概要と調査結果

適用した建物は、延床面積 9,900 m²、建築面積 2,080

項目	内容	方法	調査時期
打設能率	コンクリートミキサー車1台毎の打設時間、休止時間、休止理由などを調査する。	0.5分等間隔ワークサンプリング	3階打設時
打設作業工数	①ポンプ操作、配管盛替、ブーム操作の作業グループ(ポンプ工) ②床上でのコンクリート均し、締固め作業グループ(土工 etc) ③床レベル出し、仕上げ作業グループ(左官工) ④床下でのコンクリート締固め作業グループ(土工 etc) に分割し、その作業内容、作業人数などを調査する。	1分等間隔ワークサンプリング	3階打設時
ブーム動作経路	ブレーシングクレーンによる打設経路を調査する。	8mmメモーション分析	3階打設時
稼働率	ブレーシングクレーンのクレーンとしての稼働、分配機としての稼働時間稼働内容を調査する。	作業日報	全工程
コンクリート配管内圧力	ブーム形状変化に伴う管内圧力変動、コンクリートポンプ圧を調査する。	管内圧力計	2階打設時
コンクリート分離	圧送後のコンクリートの(分離の有無)を調査する。		2階打設時

表-2 調査項目および調査方法

m² の RC 造 5 階建であり、適用期間は、昭和 59 年 12 月～昭和 60 年 6 月末の約 6 ヶ月間である。なお、開発機の機械的性能は、工場にて検証しているの、この調査では、作業性能の確認を中心に行なった。

3.1. 調査概要

調査項目、調査方法および調査時期を表-2に示す。表中の項目のほか、品質面(配筋やコンクリート躯体)や作業強度面については、目視観察や精度測定、作業者との面談などによる調査を別途行なった。

3.1.1. 対象工事の概要 調査対象の工事概要を図-4に示す。当現場では、基準階を2工区に分割しており、コンクリート量および作業時間などの制約から1工区を2台のポンプ車で打設する方法を採った。開発機は、図中のA工区上側部分を分担しており、その他の部分は、すべて在来配管方式+ポンプ車搭載ブームによる。

本機による打設作業との比較対象には、建物形状がほぼ対称であること、打設作業グループが同一であることから、図中B工区上側を選定した。コンクリート圧送距離が異なるほかは、比較するのに好条件であった。

3.2. 調査結果

3.2.1. 打設能率 ミキサー車(5.5 m³/台)ごとの打設、休止時間の調査結果を図-5に示す。開発機による打設では、在来配管方式に比べて、頻繁にブーム移動の中断が生じている。これは、最初に柱・壁部分を打設して回り、次いではり・床部分を打設する回し打ち法を採用したためである。しかし、一スパンごとに柱・壁・はり・床を打設する片押し打ち法(在来配管方式)に比

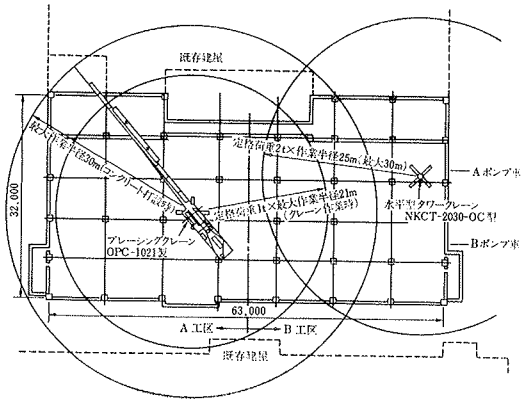


図-4 工事概要

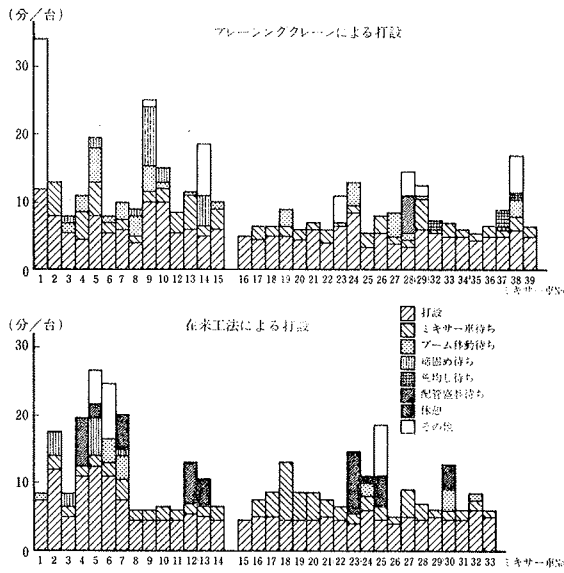
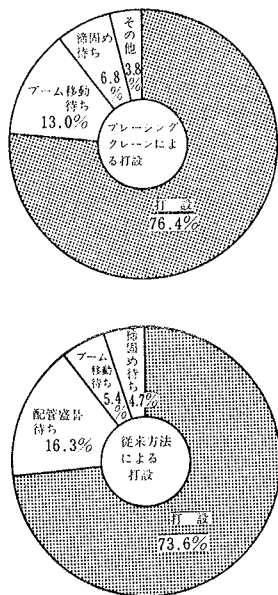


図-5 各ミキサー車ごとの打設時間の比較



注) コンクリートミキサー車待ち時間を除く

図-6 打設時間の内訳

較して、型枠の変形、スラブ面のコンクリートの沈下、垂直部位と水平部位置でのスランプの変更など品質面で、回し打ちが有利である。また、従来回し打ちの欠点であった配管盛替による配筋の乱れや打設能率の低下は、本機の使用により回避されている。

図-6は、「ミキサー車待ち」などの外的要因の中断時間を除いた平均打設時間を比較したものである。在来配管方式では、ブーム移動、配管盛替の中断が合わせて21.7%であるが、本機では、回し打ち法にもかかわらず、13.0%と縮小できた。また、図-7のブーム先端の動作メモーション分析結果から、ブームの運行方法の改善を図ることにより、中断時間をさらに低減できることが分かった。今回の打設条件では、本機の圧送管実長が在来配管の約2倍であったが、コンクリート単位量あたりの打設時間はほぼ同じであった。同一条件では、本機の打設時間はさらに短くなるものと思われる。

3.2.2. 作業工数 コンクリート打設作業のうち、①ポンプ車操作、配管盛替え、開発機の操作の作業グループおよび②床上でのコンクリートならし、締固め作業グループの作業工数を図-8に示す。作業工数には、他作業や手戻り作業、定時の休憩などの時間は含めていない。

②の作業グループの作業工数比較では、本機による場合が在来配管方式よりも約17%少なくなっている。また全体の作業工数が少なくなっているにもかかわらず、余裕率(状態を見る、手待ち、休憩など)が在来のそれよりも高くなっており、さらに作業工数低減の可能性が見られる。①の作業グループでは、本機に装備されたコン

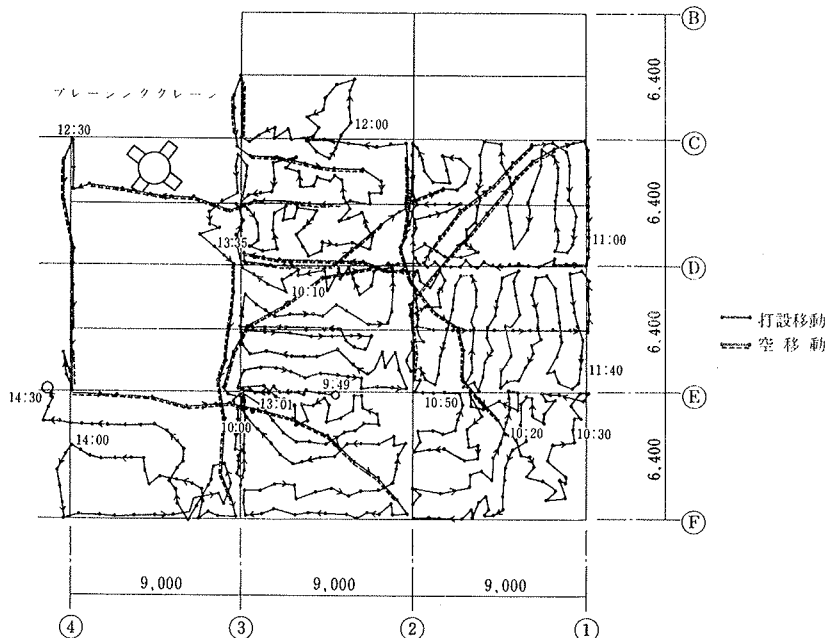


図-7 ブーム先端動作経路のメモーション分析

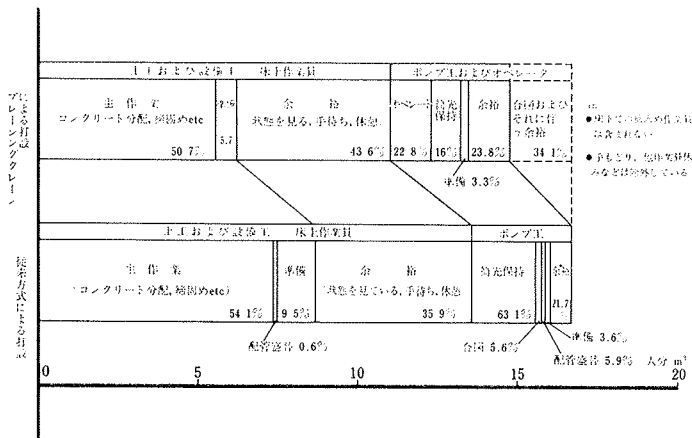


図-8 作業工数の比較

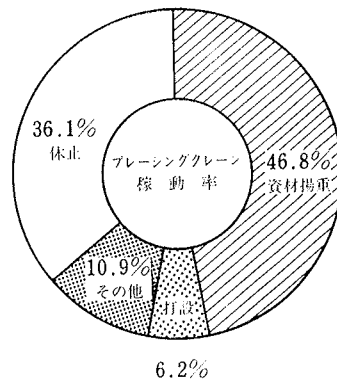


図-9 開発機の稼働内容

クリーンポンプ車のリモート機能が、機種の違いから使用できなかったため、「合図など」の作業工数の増加が見られた。しかし、リモート機能の一部改造によりポンプ車の機種に関係なく、この「合図など」の作業を本機オペレータで行なうことができ、図中点線部分の工数低減が図れた。なお、ポンプ車の条件が整えば、本機のオペレータがブームの操作とポンプ車の操作を1人で行なうことができる。

3.2.3. 稼働率 開発機の約5ヶ月間における稼働内容を図-9に示す。

全体の稼働率は、約64%であり、その内訳は、資材揚重47%、コンクリート打設6%、その他11%となっている。コンクリート分配機とクレーンの複合機能により、高い機械稼働率が得られている。なお、クレーン能力については、RC造建築現場用として十分なものであった。

3.2.4. コンクリートの圧送性と品質 実圧送工事を通して、コンクリート管内圧力(図-10参照)を始め、ポンプ回転数、油圧、ストローク数、コンクリートの品質などのデータを得た。これより管内圧力損失値(Dkg/cm²/m)と圧送速度(Vm³/hr)は、次式のようにになった。

$$D = 0.054 + 0.0023V \quad \dots\dots(1)$$

(1)式および日本建築学会ポンプ工法指針が提案する圧送

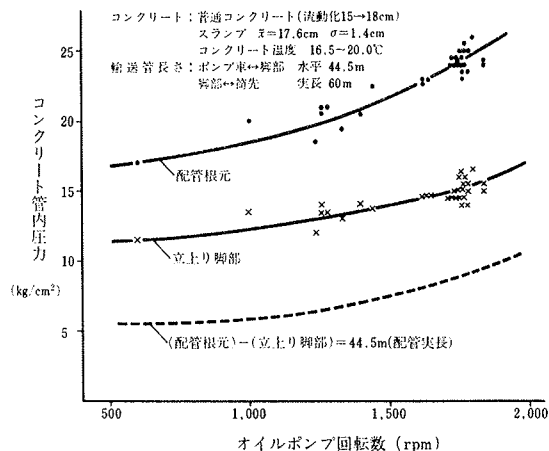


図-10 コンクリート管内圧力の計測結果

負荷推定式から、ポンプ車と開発機脚部との間の圧送可能な最長輸送管長さを算出できる。

(1)式より、本機を使用する場合の圧送性は、通常の場合と近似できることが分かった。また、ブームの形状の影響も少ないことが実証された。

本機のコンクリート輸送管の先端近傍は、必然的に下り管となり、分離が懸念されたが、コンクリートの分離状況を調査する試験の結果、分離はほとんど発生していないことが確認された。

4. おわりに

今回の調査から、自動制御式プレーシングクレーンによるコンクリート打設作業では、従来方式に比べて、品質や打設能率が向上し、作業工数が低減していること、またクレーン機能の付加により稼働率が高いこと、圧送性やコンクリート品質は変わらないことなど良好な結果を得た。

しかし、今後現場で使用して行くには、運用面における幾つかの問題解決が必要である。また、コンクリート打設における品質や施工性の向上をさらに図るには、締固めや仕上げなどを含めた一連の自動化が必要になる。今後、これらの開発を含め、より完成度の高いコンクリート打設の自動化を進めていく予定である。

謝 辞

本機の開発は、三菱重工(株)との共同研究で実施したものであり、多大な御尽力を頂いた関係者各位に深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 菱河, 汐川: 自動制御式プレーシングクレーン, 建設機械, Vol. 21, No. 10, (1985), pp. 38~45
- 2) 竹本, 菱河, 汐川: コンクリート打設作業の自動化 その1およびその2, 日本建築学会大会学術講演梗概集A, (昭和60. 10), pp. 411~414