



2. 作業環境の監視に係わる技術小論

(4) 遠隔監視技術の開発

柴 浩三 中島 裕治* 石倉 康治**

東海事業所安全管理部

* 大洗工学センター安全管理部

** 新型転換炉ふげん発電所

資料番号: 81-13

2. Development of Technology on Radiation Monitoring
of Working Environment

(4) Development of Remote Radiation Monitoring Technique

Kouzou Shiba Yuuji Nakashima* Yasuji Ishikura**

(Health and Safety Division, Tokai Works

* Health and Safety Division, O-arai Engineering Center

** Safety and Chemical Section, Fugen Nuclear Power Station)

放射線測定分野においても、ロボット技術、無線技術等を応用した放射線測定機器、放射線測定システムの開発を行っている。

代表的なものとして、走行式放射線モニタ（東海事業所）、テレドーズシステム（大洗工学センター）、無線式エリアモニタ（新型転換炉ふげん発電所）があり、用途、原理、方式、応用している技術は多様である。

これらの機器は、特別な放射線状況において作業環境モニタリングあるいは個人被ばくモニタリングに効果的に活用され、被ばく低減等に寄与している。

1. はじめに

作業環境モニタリングあるいは個人被ばくモニタリングにロボット技術、無線信号伝送機能等を利用したモニタリング方法を、東海事業所、大洗工学センター、新型転換炉ふげん発電所の各事業所において開発し、運用している^{1),2),3),4)}。このようなモニタリング方法（システム）を、その目的により“遠隔監視技術（システム）”と総称しており、各システムの代表例を表-1に示す。さらに各システムに関する詳細な内容を、開発経緯、各種試験データ等を含めて、システム毎に以下に示す。

2. 走行式放射線モニタ

ブルトニウム燃料第三開発室は、FBR燃料の大量製造技術の開発とその実証を目的として建設された施設であり、自動運転、遠隔操作、計算機制御を取り入れた新しい施設である。また、本施設は工程運転中の作業者の被ばくを可能な限り低くするような設計となっている。このような施設での放射線管理に対応するために放射線管理の合理化、高度化を目的とした放射線管理用モニタを開発する必要が

あった。

本走行式放射線モニタは、昭和60年にブルトニウ

表-1 遠隔監視技術（システム）の代表例

システム名称	東 海	大 洗	ふ げ ん
開発の目的	自動運転、遠隔操作などが大規模に取り入れられた施設（FBR燃料第三開発室）に適合させた放射線管理手法の一つとして、遠隔化、自動化を取り入れた放射線モニタリングシステムを構築する。	1) 高線量率下のセル内作業などにおいて、被ばく線量当量の遠隔監視を行い、異常被ばくの防止を図る。 2) 被ばく線量と作業内容の相互関係を明らかにして被ばく低減に資する。	1) 系統化学除染時の機器・配管表面の線量当量の測定にかかる労力および測定に伴う被ばくを低減する。 2) 作業場所の放射線状況を遠隔監視して管理を強化すると同時に、作業場所の放射線情報を適切に提供し被ばく低減に資する。
主な機能	1) 自定式ロボットを用い、各種の定数（テープの張り替えにより変更可能）における線量当量の測定および表面密度測定用試料の採取を自動的に行う。 2) パパルカセット装置に記憶された測定データを、計算機によってデータ収集・処理する。	1) 無線遠隔送信機を装備した作業者の被ばく状況を、受信機およびデータ累積装置により遠隔監視する。 2) 作業終了後、被ばく線量データおよび作業内容情報を用いて、解析装置（パソコン）により作業解析・評価を行う。	1) 各所に設置したエリアモニタの指示値を無線で遠隔監視・記録する。 2) 収集したデータを出入口に自動的にパネル表示する他、パソコンでデータを処理し線量率推移グラフを作成する。

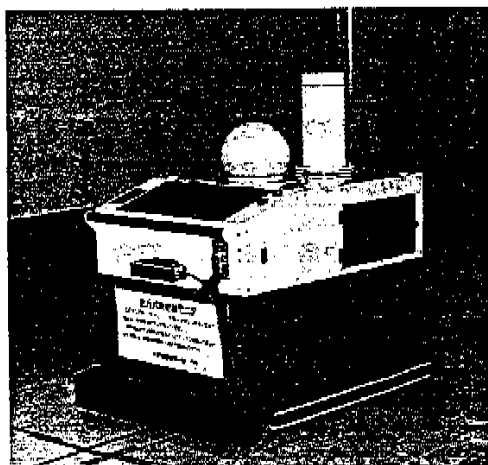


写真-1 走行式放射線モニタ外観

ム燃料第三開発室のホット試験に合わせて開発導入されて以来、昭和61年度に検出器の特性試験を実施し、翌62年度にはフィールド試験を実施している。こうして昭和63年度から施設のホット試験と同時に定常業務の一部を走行式放射線モニタによって実施することとなった。

2.1 システム概要

(1) 全体構成

走行式放射線モニタは、工務室を取り巻く地下1階、1階、2階の各階の外周廊下における線量当量率および表面密度をあらかじめ定められたコースにしたがって自動測定する機器である。本モニタは、移動台車とγ線検出器、中性子線検出器およびα線検出器を有する放射線測定装置から構成され、放射線測定装置には測定データや測定点情報等を記憶する記憶装置が組み込まれている。測定データはモニタ本体のバブルカセットに記憶した後、CPUインターフェイスを介して放射線管理用情報処理装置にバッチ入力し、他の放射線管理データと合わせて情報処理される。写真-1に走行式放射線モニタの外観を示す。また、図-1にブロック図を示す。

(2) 各部の仕様

① 移動台車

移動台車は、放射線測定装置を搭載して、あらかじめ定められたコースを自動走行する機能を有した台車であり、電源部、台車制御部、モータ駆動部、台車操作パネル、安全保護装置等から構成されている。走行制御方式としてリニアイメージセンサによる光学誘導方式を採用することにより、誘導テープおよびパターンテープを張り替えることでコースの変更や測定点の変更が容易に行えるようにした。

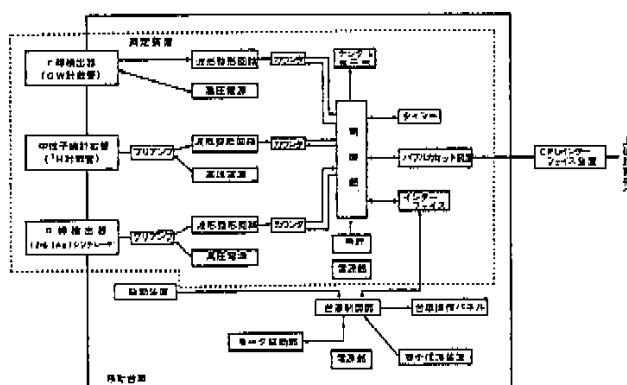


図-1 走行式放射線モニタブロック図

② 放射線測定装置

放射線測定装置は、γ線検出器 (GM計数管)、中性子線検出器 (^3He 計数管)、α線検出器 (ZnS(Ag)シンチレータ) の各検出器と測定回路、制御部およびバブルカセット装置から構成されている。

各検出器の特性としては、γ線検出器は基準線量に対する感度の誤差が±10%以内で良好な直線性を有している。また、本検出器は、GM管の特徴である高線量域での数え落としを防止するための発光検出ユニットが測定回路に組み込まれている。さらに、中性子検出器についても同じように基準線量に対する誤差は±10%以内である。

一方、α線検出器の検出位置における感度特性については、感度のバラツキの比が中心感度1に対して最低0.7であり、平均感度に対して±15%以内に分布している。

これらの各検出器による測定は、移動台車からの測定点情報に基づき行われる。

また、測定の開始や測定時間の制御および測定データ処理は制御部で行い、測定データは測定点情報とともにバブルカセット装置に記憶される。

2.2 試験結果

本モニタを使って各階の外周廊下の線量当量率と表面密度の測定を行った。

線量当量率の測定結果については、施設の構造上からはほとんどバックグラウンド未満であったが、測定過程において、指定経路の自動走行や指定ポイントでの自動測定等走行制御方式の健全性が懸念されたがいずれも問題なく、高線量区域等の通常人が立ち入らない場所での詳細モニタリングにおいても本モニタで採用した光学誘導方式を有効に活用することによって正確に線量当量率等のデータ収集が行えることを確認した。

一方、表面密度については工程室の扉付近や階段前、エレベータ前等人通りの多い場所をポイントとして定めて定期的に測定を行った。こうした場所は可能な限り測定頻度を多くし、確実に管理していく必要がある場所であり、本モニタのような自動測定が有効であることを確認した。

このようにして得られたデータは放射線管理用電算機で情報処理され、測定記録として保存することが可能となった。これまで同種のデータ処理を手入力で行っていたが、本システムはパブルカセットによってバッチ入力することが可能となり、データの転記ミスや計算ミスといった初歩的なミスがなくなり、作業の省力化に加えて品質保証の観点からも大幅な改善になった。

今後は、これまでの使用経験を踏まえ、ブルトニウム燃料第三開発室ATRラインへの導入を目標に既設走行式放射線モニタの懸案事項である小型軽量化やリアルタイムによるデータ伝送等の高度化を図るための調査を進めていく考えている。

3. テレドーズシステム

高放射線被ばくの恐れのある作業の被ばく管理は、一日の最大被ばく線量管理値等を定め、これらの制限値を越えないよう警報付個人被ばく測定器（アラームメータ）を着用して実施している。この場合、作業中に作業者が随時被ばく線量を確認することは容易ではなく、作業終了後やアラーム吹鳴時まで被ばく線量を把握することができない場合もある。すなわち、作業中の被ばく経過の詳細が把握できないため、異常被ばくの防止、および待機中の無用な被ばく等の低減を効果的に検討することが困難であった。また、作業時の被ばく要因の解明や被ばく低減化対策の検討に当たって、被ばく線量と作業内容の相互関係が不明確であるため、過去の実績を作業計画へ十分に反映することができなかった。

これらの諸問題を解決するため、作業者の被ばくを遠隔監視すること等が可能な遠隔管理装置（テレドーズシステム）を開発した。なお、本装置は、通常、作業状況監視装置（ITVカメラのセット）および無線通話装置とともに使用されるものでありこの時最大の効果を発揮する。

3.1 システム概要

本システムは、①テレドーズ装置（無線送信器付線量計（送信器）および受信器）、②被ばく線量データ集積装置、③被ばく線量データ解析装置、の3装置によって構成され、無線送信器付線量計は放射線作業時の作業者の被ばく線量を $1\mu\text{Sv}$ 毎に送信



写真-2 無線送信器付線量計（送信器）

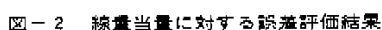
し、受信器（送信器5台のデータを受信可能）で遠隔監視を行うとともに、その信号はデータ集積装置に記録され、データ解析装置により被ばく線量の経時変化、線量率の経時変化等を出力するものである。写真-2に無線送信器付線量計（送信器）を、写真-3に受信器および集積装置を示す。

3.2 検出器およびシステムの特長

フィールド試験に先立ち、校正室での照射により、本システムの線量計（検出器：GM管、フィリップス製）の特性を調査した。照射は ^{137}Cs を使用し、 $30\mu\text{Sv/h}$ — 10mSv/h の範囲で行った。結果は次のとおりである。

- ① 測定値の再現性（一定線量を照射した時に起こる誤差）に関しては、積算線量および線量当量率について確認し、ともに誤差は5%以内であった。
- ② 直線性（リニアリティ）に関しては、 10mSv/h までの直線性が認められた。
- ③ 方向依存性に関しては、検出器がロッドアンテナの下に位置しているため検出器上部および側面からの照射に対し感度が低下するが、その他からの照射に対しては10%以内の誤差であった。

④ 測定されたパルスは、解析装置によって線量当量率に換算されるが、この時、パルス間の時間間隔から算出する時間管理と、一定時間内に入力されるパルスから算出する線量率管理を組み合わせることにより、誤差を8%以内に押さ



測定器 作業者	アラームメータ値	テレドーズ測定値
A	0.17 mSv	0.17 mSv
B	0.45 mSv	0.45 mSv

テレドーズシステムは、被ばく線量当量を電波で
送信し、ステーションユニット（受信器と集積装置



表-3 各作業内容における被ばく線量当量の分析結果(廃液タンク除染作業の例)

No.	作業内容	作業者					
		作業者 1	作業者 2	作業者 3	作業者 4	作業者 5	作業者 6
		被ばく線量当量の読み値(mSv) 〔作業時間〕 (分)	作業被ばく係数 (mSv/h)	被ばく線量当量の読み値(mSv) 〔作業時間〕 (分)	作業被ばく係数 (mSv/h)	被ばく線量当量の読み値(mSv) 〔作業時間〕 (分)	作業被ばく係数 (mSv/h)
①	バブリング作業	0.061~0.170 (49, 53)	0.194	0.002~0.080 (25, 93)	0.180		
②	フィルター交換			0.120~0.200 (3, 38)	1.419	0.005~0.070 (6, 66)	0.569
③	待機						
④	廃液サンプリング					0.110~0.190 (3, 45)	1.393
⑤	待機						
⑥	バブリング作業			0.280~0.300 (7, 76)	0.155	0.222~0.285 (21, 66)	0.172
⑦	線量当量率測定			0.390~0.440 (3, 31)	0.907	0.333~0.355 (0, 38)	3.650

* : 作業被ばく係数……ある作業における単位時間当たりの作業者の被ばく線量当量

の総称)で受信して測定・監視するシステムであり、また集積されたデータを様々な形で解析し、被ばく低減のための情報を出力するシステムである。このテレドーズシステムが有効に活用できる場合としては、下記のケースが考えられる。

- ① 高線量当量率下の(作業被ばく係数が高い)作業の場合
- ② 直接作業監視できないエリアの作業を管理する場合
- ③ 日々の作業被ばく解析結果を、その作業期間内に反映できるような場合(作業期間の長い場合、同一作業を繰返し行う場合等)
- ④ 線源の移動もしくは線源量(強度)の変化があるが、場の線量当量率の変化を把握しないで、直接被ばく線量当量を監視して管理する場合

また、テレドーズシステムは無線を利用しているので、配線が困難もしくは不可能な区域において、エリアモニタとして利用することが可能である。

なお、テレドーズシステムは、作業場所とステーションユニットとの間に遮蔽等の電波障害を起こすものがある場合は、受信不可能な状態となるため、使用することができないが、この場合は電波を受信できる場所にアンテナを移動することによりシステムを使用することが可能である。

4. 無線式エリアモニタシステム

新型転換炉ふげん発電所の第8回定期検査(元年度)および第9回定期検査(平成2年度)において原子炉冷却系系統化学除染を実施することが計画され、本システムを開発した。開発の目的は以下のとおりであった。

- ① 系統化学除染における除染効果の解析・評価

のため、除染中に主要機器・配管表面の線量当量率を連続的に測定する。

- ② 定期検査作業における各作業エリアの線量当量率を迅速に把握し、その情報を作業員へ提供する。
- ③ 上記①、②のどちらにも対応可能とするため、測定ポイントの変更を容易にする。
- ④ ふげん発電所の原子炉建屋内構造に適したシステムとする。
- ⑤ 線量当量率の測定およびモニタ設置に係わる作業員の労力および被ばくを低減する。

4.1 システム概要

(1) システム構成

本システムの全体構成およびシステムの配置を図-4および図-5に示す。

原子炉建屋内で行われる系統化学除染あるいは点検作業の対象となる蒸気ドラムおよび原子炉再循環系の圧力管群、ヘッダー、ポンプ等は、独立した2ループ構成となって炉心を挟んだ左右のエリアに分割設置されていることから、本システムも効率的な無線通信が行えるように、親局以降の設備をA、B各ループ専用として設計した。

(2) 検出器

検出器には、除染対象機器表面の測定用として小型・軽量のシリコン半導体検出器(28mmφ、153ml)を、作業エリアの測定用として線量表示機能を有する線量表示器(30cm×30cm)を採用し、目的に応じた使い分けができるシステムとした。

なお、図-4に示したシステムの一括表示部には、あらかじめ原子炉建屋各階の平面図が印刷されており、作業エリア測定用の検出器を接続した状態のときのみ線量マップ表示に利用することとしている。

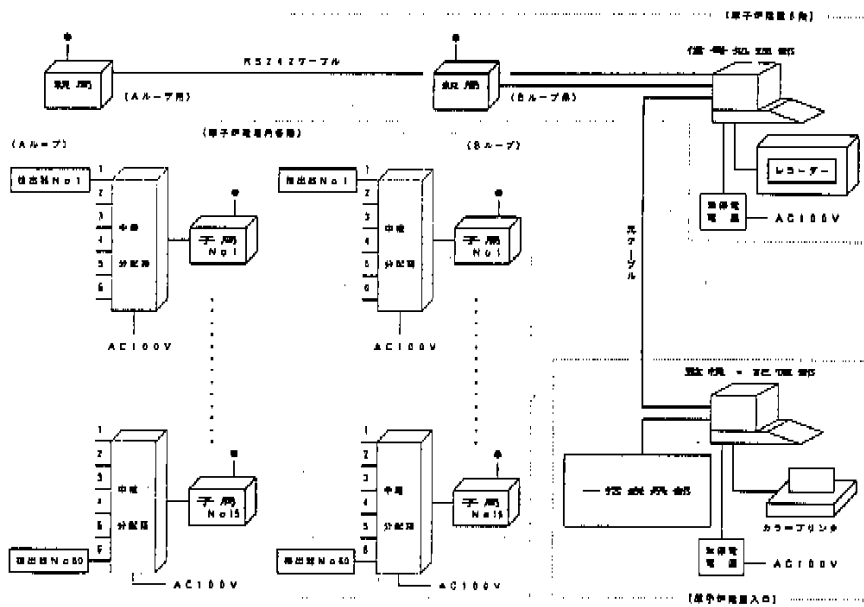


図-4 無線式エリアモニタシステム構成

(3) 無線機（親局および子局）

最初、スペクトラムアナライザを用いて、原子

炉建屋内の無線式天井旋回クレーンの運転等への電波による影響を調査し、問題のないことを確認し

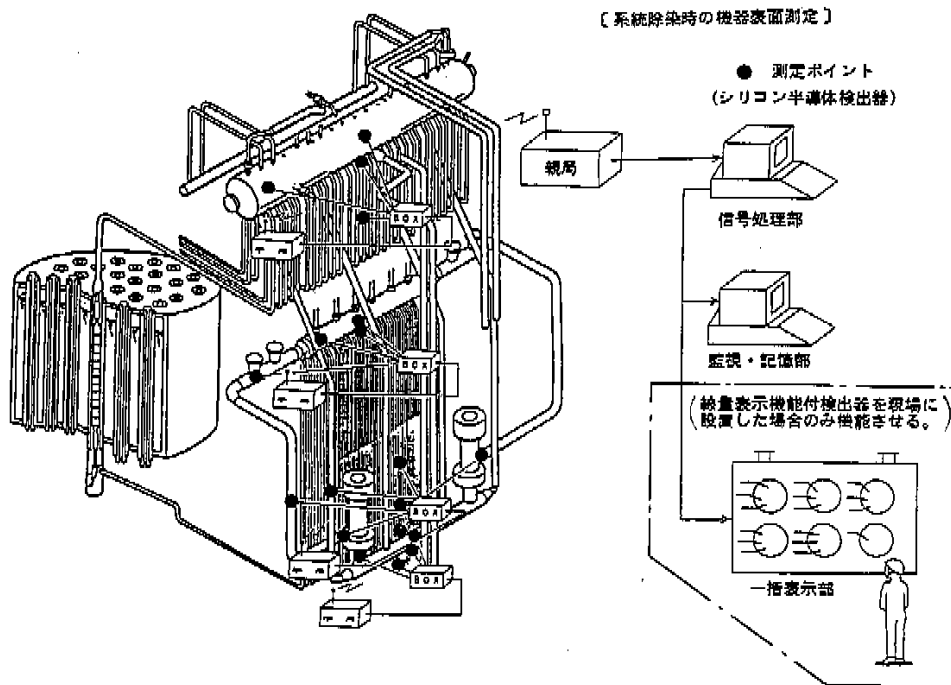


図-5 系統除染時の無線式モニタ設置状況

た。通信可能範囲に関しても、同アナライザーおよび試作機による調査を行い、それらの結果に基づいて無線機の仕様および設置場所を決定した。

無線機の仕様は、免許および無線従事者の資格を必要としない特定小電力無線局に準拠して、周波数を400MHz帯、送信電力を10mWとした。

無線機（親局）は、図-4に示すとおりA、B各ループ1台を設置したが、子局1台に検出器を最大6チャンネル、親局1台に子局を15台接続でき、親局1台については最大90チャンネルのデータ収集が可能となっている。

(4) 電源

当初、検出器および無線機（子局）については、移動性を考慮し電池による動作を予定していたが、消費電力を検討した結果、1週間程度の動作が限度であり、連続測定が必要である定期検査期間（2～3ヶ月）での使用には耐えないことが判明した。したがって、検出器および無線機（子局）への電源供給は、原子炉建屋各階に設けられている100V電源を利用することとし、検出器と無線機（子局）の間に、電源供給のための中継分配箱を設置した。ただし、短期間の使用のケースもあるため、一週間程度の電池による動作も可能とした。

一方、信号伝送については、伝送の信頼性を考慮した上で、可能な限り無線信号伝送方式としたが、有線となる部分およびパソコン間の接続には、信号劣化の少ない光ケーブルを採用した。

(5) データ処理機能

測定データの処理については、複数のデータを収集しながらグラフ処理等の解析・処理が必要なことから、パーソナルコンピュータ（以下「PC」という）を使用することとし、信号処理用PCと監視・記憶用PCの2台とした。これら2台のPCによるデータ処理の概要は以下のとおりである。

- ① 各検出器の測定データは、5分間に1回の割合でサンプリングする。
- ② 5分間値は1時間平均値に処理し、5分間値を約7日分、1時間平均値を約150日分記憶する。
- ③ 任意の6チャンネルについて、グラフを作成する。
- ④ 全データについて、8時間毎の平均値および1日の最大値を日報として出力する。
- ⑤ 一括表示部へデータを出力する。

4.2 使用実績および考察

第8回および第9回定検に実施された系統化学除

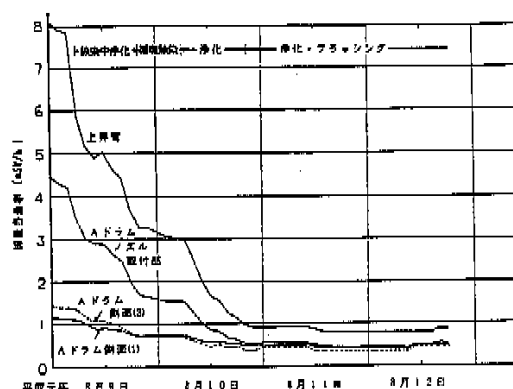


図-6 系統除染時の測定データ例

染時に、主要機器・配管にシリコン半導体検出器を20ポイント配備して監視を行った。その結果、除染により変化してゆく機器表面の放射線状況がタイムリーに得られ、解析・評価に使用できた。図-6に本システムによって得られた系統化学除染時の測定データ例を示す。

定期検査作業時の作業エリア測定については、A・B両ループの各フロアに、手すり等を利用して線量表示機能付検出器を取付け、作業者がその場の線量当量率を常に把握することができた。また、これらのデータが原子炉建屋入口の一括表示部にも表示され、作業前に各作業エリアの線量当量率の把握もできるようになった。これにより作業者に常に最新の放射線情報が提供でき、被ばく低減意識の高揚に役立ったと考える。また、週1回実施していた電離箱サーベイメータによるマニュアル測定について、本モニタシステムのデータを使用することで合理化が図られ、同時に測定者の被ばく低減（8割減、4人・mSv相当）にもつながった。

また、系統化学除染時は、本システムの検出器の設置に伴う被ばくの増加分（1人・mSv）を考慮しても、通常のサーベイメータによる方法に比べ、9割以上（30人・mSv相当）の低減効果が得られたと推定される。

本モニタシステムを系統化学除染時の測定および定期検査時の作業エリア測定に使用し、その有効性を確認することができた。今後は無線であることを活かし燃料交換装置等の稼働機器の測定等、他の測定に適用していくことも効果があると考えられる。

参考文献

- 1) 関、尾方他：「放射線管理測定自動化（走行式放射線モニタの開発）」動燃技報 No.67 (1988)
- 2) 松岡他：「無線式エリアモニタシステムの開発」動燃技報 No.78 (1991)
- 3) 松岡、鈴木他：無線式エリアモニタシステムの開発 日本保健物理学会第25回研究発表要旨集 (1990)
- 4) Naoi, Kitabata, et al., Development and Experience of Chemical Decontamination for the Fugen Nuclear Power Station (1), Proceedings of 1991 JAIF International Conference on Water Chemistry in Nuclear Power Plants, Fukui, Japan, pp.211-216, (1991)