

平成3年度  
帰国研修員フォローアップチーム報告書  
— 自動制御集団研修コース —

平成4年2月

国際協力事業団

九州国際センター

九州セ

JR

91-2

JICA LIBRARY



1096797(4)

27619

国際協力事業団

23699

## 序 文

本報告書は、国際協力事業団が実施している『自動制御集団研修コース』に参加した帰国研修員に対するアフターケアの一環として、去る平成3年12月6日から12月21日までの16日間、中国、インドネシア及び韓国に派遣したフォローアップチームの調査結果を取りまとめたものである。

今回の調査は、帰国研修員との面接を中心に行ない、あわせて技術セミナーも開催した。本報告書が今後の研修コース実施の参考となれば幸いである。

本調査にあたり御協力を頂いた各国政府機関、日本大使館、JICA事務所、帰国研修員及び帰国研修員所属先、その他関係各位に感謝の意を表す。

平成3年2月

国際協力事業団

九州国際センター

所長 笹野 暉 樹



中国・武漢でのセミナー実施風景



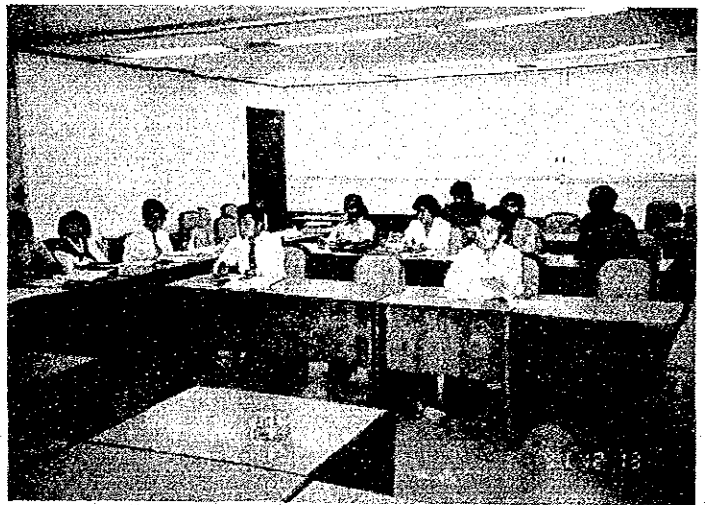
中国・武漢での帰国研修員との面談



中国・武漢市工程科学技術研究院内部



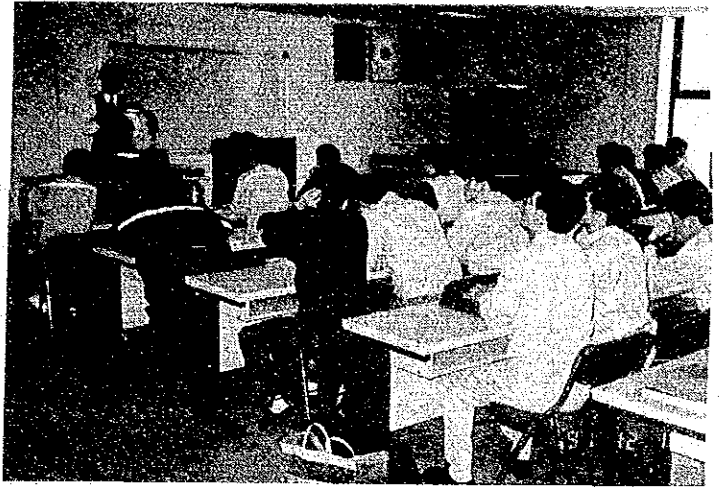
インドネシア・工業省での打合せ



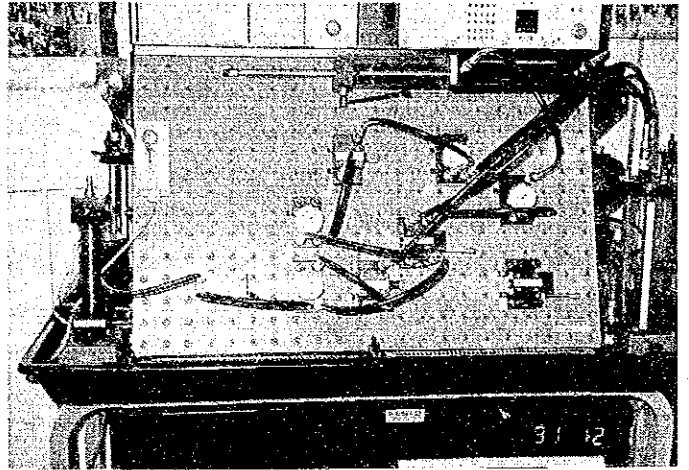
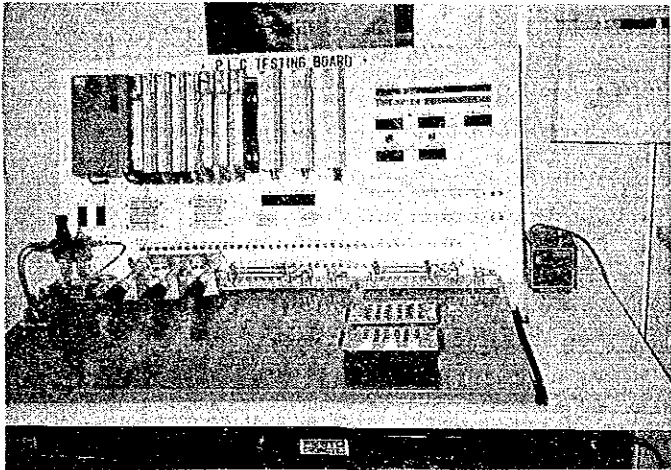
インドネシア・ジャカルタでのセミナー実施風景



韓国・科学技術處との打合せ



韓国・牙山でのセミナー実施風景



韓国・牙山・起亜自動車内の研修用機器



韓国・大田・海事技術研究所での  
帰国研修員及び上司との面談



韓国・大田・海事技術研究所での  
セミナー実施風景

# 目 次

序

写真

I. 派遣チームの概要	1
1. 派遣目的	1
2. 団員構成	1
3. 調査日程 主要面会者	2
4. 研修員名簿	5
II. フォローアップチーム調査内容	8
1. 調査T/R	8
2. 国別調査活動と結果	9
(1) 中 国	9
(2) インドネシア	10
(3) 韓 国	12
3. 質問表集計結果	14
(1) 帰国研修員	14
(2) 技術協力窓口機関	21
(3) 研修員所属先	22
4. まとめ —— 問題点と提言	24
(1) 調査結果	24
(2) 問題点の集約	25
(3) 提言	25
III. 技術セミナーの実施内容	27
1. 概要	27
2. 技術セミナー実施状況	27
(1) 中 国	27
(2) インドネシア	28
(3) 韓 国	29
3. セミナー原稿	31
4. 配布資料	54
IV. 添付資料	78
1. 自動制御コースの概要	78
(1) コース開設年及び開設の経緯と目的	78
(2) 研修内容及び機関	79
(3) 国別帰国研修員数	83
2. Questionnaire	84
3. 持ち帰り資料一覧	100

## I. 派遣チームの概要

### 1. 派遣目的

今回のフォローアップチームは、自動制御コースに参加した研修員のうち、中国、インドネシア、韓国を対象として下記に示す項目の調査を行ない、今後の研修受入事業の向上改善に資することを目的として派遣された。

- (1) 帰国研修員の所属機関を訪問し、又研修員との面接により、日本での研修結果を把握し、本コースに関する要望等を聴取する。
- (2) 技術セミナーの開催、工場訪問等により、同分野における当該国の技術的問題点、課題およびニーズを把握する。

### 2. 団員構成

氏名	担当業務	所属先
小宮 勤一	総括	九州工業大学・教授
水田 貞	技術指導	財団法人北九州国際研修協会 自動制御コース・コースリーダー
小野 晃子	業務調整	国際協力事業団九州国際センター 研修担当

3. 調査日程・主要面会者

月日(曜)	午 前	午 後
12月5日(木)		福岡(14:15) → 成田(15:50)
12月6日(金)	成田(10:00) → 北京(13:40)	16:30~17:10 JICA中国事務所との打合せ 三浦 敏一 所長 難波 緑 職員  17:30~18:00 日本大使館表敬 藤本 直也 一等書記官
12月7日(土)	北京(9:10) → 武漢(11:50)	15:00~17:00 武漢市科学技術委員会国際科技合作処との面談 李西曼 処長 康 力 氏 王亞寧 氏 帰国研修員との面接(3名) Ms. Song, Hai-Biao (1986) Mr. Xu, Shang-Ping (1988) Mr. Chen, Ting (1990)
12月8日(日)	9:30~12:00 セミナー開催 於: 濱江飯店 参加者: 17名	12:00~14:30 調査団主催昼食会 於: 江漢飯店 参加者: 20名  18:30~20:30 武漢市科学技術委員会主催夕食会 於: 老通城 参加者: 市科技委副主任 魯啓漢氏他8名
12月9日(月)	8:40~9:50 武漢市工程科学技術研究院訪問 任允忠 院長 李如璋 副院長 Ms. Song, Hai-Biao (1986) 他、研究院、科技委関係者、帰国研修員等5名	武漢(11:50) → 北京(13:50) 15:30~16:00 JICA中国事務所長へ報告 三浦 敏一 所長 難波 緑 職員
12月10日(火)	10:00~11:30 国家科学技術委員会表敬 張慧春 日本処処長	団内打合せ 資料整理
12月11日(水)	北京(7:50) → 香港(10:50)	香港(15:30) → ジャカルタ(18:55)



月日(曜)	午 前	午 後
12月12日(木)	9:00~10:00 JICAインドネシア事務所との打合せ 高橋 昭 所長 椎名のり子 職員  10:15~10:45 日本大使館表敬 本庄 孝志 一等書記官  11:00~11:45 Cabinet Secretariat 表敬 Mr. Wahid Salim (Head Private and Cultural Division, Bureau for International Technical Cooperation) Ms. Tuti Sugiarti Ms. Yanti	13:30~15:30 PT Asahimas Flat Glass Co., Ltd 訪問 森 規安 副社長他1名
12月13日(金)	10:00~11:00 工業省表敬 Mrs. Ainsjah Taufik (Head Bureau for International Relations) Mr. A Munir Oesman	15:20~18:00 セミナー開催 於: JICA事務所会議室 参加者: 12名  帰国研修員との面接(1名) Mr. Yurizal H (1990)  18:30~20:30 調査団主催夕食会 於: プレジデントホテル 参加者: 20名
12月14日(土)	団内打合せ	資料整理
12月15日(日)	ジャカルタ(8:05) → 香港(15:05)	
12月16日(月)		香港(15:15) → ソウル(19:15)
12月17日(火)	10:30~11:45 日本大使館表敬、打合せ 下荒地修二 参事官(経済部長) 阿部 孝哉 一等書記官 小池 剛 一等書記官 張 東華 調査官	14:00~15:00 科学技術処表敬 具本梯 技術協力局技術協力一課長、 書記官 金鳥天 行政事務官 李建南 氏  20:00~22:00 帰国研修員との面談・打合せ(2名) Mr. Lee, Joon-Woong (1990) Mr. Lee, Seok-Jun (1991)

月日(曜)	午 前	午 後
12月18日(水)	ソウル(8:30)→牙山(11:00) 11:15~11:45 起亜自動車株式会社訪問 趙相旭 管理部管理課長 Mr. Lee, Joon-Woong (1990) Mr. Lee, Seok-Jun (1991)	13:00~14:00 起亜自動車株式会社工場見学 Mr. Lee, Joon-Woong (1990) Mr. Lee, Seok-Jun (1991)  14:00~16:00 セミナー開催 於:起亜自動車株式会社研修室 参加者:22名  16:00~17:00 帰国研修員上司との懇談 孔春基 F. A部次長  牙山(17:00)→大田(20:00)
12月19日(木)	10:00~10:30 韓国海事技術研究所訪問 梁承一 船舶研究部長 Mr. Kim, Byung-Yeun (1988)  10:30~12:00 セミナー開催 於:海事技術研究所会議室 参加者:11名	12:00~14:00 帰国研修員との面接(3名) Mr. Kwon, O-Hyung (1986) Mr. Kye, Moon-Ho (1987) Mr. Kim, Byung-Yeun (1988)  大田(14:00)→ソウル(18:00)
12月20日(金)	団内打合せ	資料整理
12月21日(土)		ソウル(12:40)→福岡(13:50)

(注記) 1. セミナー参加者については、Ⅲ. 技術セミナー実施内容の項に掲載。

2. 名前のうしろに西暦のある分については、その年度に実施された本コースに参加した研修員であることを示す。肩書きは、後掲帰国研修員名簿参照。

#### 4. 研修員名簿

##### (1) 中国（帰国研修員）

No.	氏 名	参加年度	現 職	備 考
1	Ms. SONG, HAI-BIAO 宋 海斌	1986 (第1回)	武漢工程科学研究院自動車測試開 発実験室(所) 副所長 総工程師	面 接 (武 漢)
2	Mr. XU, SHANG-PING 徐 尚平	1988 (第3回)	長沙工学院自動制御系講師	面 接 (武 漢)
3	Mr. CHEN, TING 陳 挺	1990 (第5回)	Xin Tian 公司工程師	面 接 (武 漢)
4	Mr. ZHANG, XIAO-JUN 張 小軍	1991 (第6回)	河北化学技術輕工業研究所工程師	面 会 (北 京)

(注記) 第6回帰国研修員は、日本での研修終了直後で帰国したばかりであるため面接は対象外。

(2) インドネシア (帰国研修員)

No.	氏 名	参加年度	現 職	備 考
1	Mr. EKO MULYONO	1988 (第3回)	転職 (銀行員)	
2	Mr. SAMARGI	1989 (第4回)	転職 (留学準備)	
3	Mr. YURIZAL HANANI	1990 (第5回)	P.T. Semen Padang 計装予防保全グループ長	面 接 (ジャカルタ)

(3) 韓国 (帰国研修員)

No.	氏 名	参加年度	現 職	備 考
1	Mr. KWON, O-HYUNG. 權 五亨	1986 (第1回)	自動化技術研究部制御機器研究室 シニア研究員	面 接 (大 田)
2	Mr. KYE, MOON-HO 桂 文浩	1987 (第2回)	韓国電気研究所電力電子研究室 シニア研究員	面 接 (大 田)
3	Mr. KIM, BYUNG-YEUN 金 柄演	1988 (第3回)	韓国海事技術研究所船型推進室 シニア研究員	面 接 (大 田)
4	Mr. LEE, KWANG-SAE	1989 (第4回)	転職 (浦項製鉄)	
5	Mr. LEE, JOON-WOONG 李 濬雄	1990 (第5回)	起亜自動車(株) FA部装置技術課課長代理	面 接 (ソウル) (牙 山)
6	Mr. LEE, SEOK-JUN 李 碩竣	1991 (第6回)	金星産電(株)研究所・5研究室 主任研究員	面 接 (ソウル) (牙 山)

## II. フォローアップチーム調査内容

### 1. 調査T/R

項 目	調 査 事 項	調査対象	調査方法
1. 候補者の募集、選考に関する調査	1. 募集手順 2. 選考基準について 3. 本コースの研修成果の吸い上げおよびそのフィードバックについて 4. 本コースに対する要望について	○ ○□ ○□ ○□	質問表 及 び 面 接
2. 相手国の技術水準、国情と本コースの有効性に関する調査	1. 自動制御分野に関連する相手国の技術水準（日本との比較等）および国情等 2. 本コースに対するニーズについて 3. 本コースに対する問題点について	○□△ ○□△ ○□△	質問表 及 び 面 接
3. 研修員の動向及び研修成果に関する調査	1. 募集要項（GI）接受の時期 2. 有効だった科目およびその実際の応用状況 3. 応用困難な場合の理由 4. 自動制御の実情（問題点） 5. （3. 4. に鑑み）新たに必要なカリキュラム等改善点 6. 職務に関して改善の有無	△ △ △ △ △ △	質問表 及 び 面 接

(注記) 1. ○：技術協力窓口機関、□：帰国研修員所属機関、△：帰国研修員

2. 後掲の質問表を事前に送付し、調査団訪問時には、補足質問を行なった。

## 2. 国別調査活動と結果

### (1) 中国

#### (1)-1 候補者の募集、選考状況

当該国の技術協力窓口機関および帰国研修員所属機関に現状を聴取した。

##### ① 研修員募集の手順

(国家科学技術委員会) → 省、市科学技術委員会 → 研修員募集 → 資格試験 → (国家科学技術委員会)

##### ② 選考基準

- 1) 省、市科学技術委員会は、募集要項(GI)の参加資格要件に基づいて選考する。
- 2) 候補者は、外国語(英語)の試験に合格しなければならない。
- 3) 国家科学技術委員会独自の選考基準に基づいて、最終決定する。(大学卒業してから、2年間以上の実践経験があり、すぐれた実績を持っている者)

#### (1)-2 中国の自動制御技術の現状、本コースの有効性及び研修成果等

##### ① 帰国研修員所属先訪問

武漢市工程科学技術研究院(第1回帰国研修員Ms. Song, Hai-Biaoの所属先)

出席者

武漢市工程科学技術研究院・院長	任允忠
副院長	李如璋
科学技術委員会国際技術合作処・処長	李西曼
	王垂寧
	王衛

第1回帰国研修員 Ms. Song, Hai-Biao

第3回 " Mr. Xu, Shang-Ping

第5回 " Mr. Chen, Ting

任院長より同研究院の概要説明があり、その後院内の見学をした。院内の4つの研究室での開発成果のあったシステムの説明があった。(当研究院は、傘下にいくつかの研究所をもっており、院自体はそれらの管理業務を行なっているとのこと)

##### ② 本コースに対するニーズ

所属機関および帰国研修員より出された意見を集約すれば、

- 1) 研修員のバックグラウンドが異なるため各人がそれぞれ異なるニーズを持っているので、それに対応できるようにしてほしい。
- 2) 初歩的な知識の繰り返しは避け、例えばファジー、ニューロ、エキスパートシステム、LANなどのAdvanceなカリキュラムを提供してほしい。

3) 帰国研修員のための Advance Course を設けてほしい。

とくに Advance Course を設けてほしい要望が強い。

⑨ 研修員の動向及び研修成果についての調査

中国からは、過去4名の研修員が参加しており、全員の4名に会うことが出来た。

第1回帰国研修員 Ms. Song, Hai-Biao

第3回 “ Mr. Xu, Shang-Ping

第5回 “ Mr. Chen, Ting

第6回 “ Mr. Zhang, Xian-Jun (帰国直後のため、北京における面会のみ)

事前送付した質問表に基づいて、聴取を行なった。

その結果は、質問表の集約結果に示している。

帰国研修員は日本での研修結果を生かし、重要なポジションで活躍している。

(1)-3 中国における問題点のまとめ

所属機関および帰国研修員からは、自動制御の Advance なカリキュラムの提供に対するニーズが強い。但し、これは中国の帰国研修員のうち、1人を除く全員が研究機関から来ており、また全員が Engineer であるため、既に本コースの目的及び到達目標に比し全員のレベルが高すぎたという要因があつての事で、中国内に、現在、JICA が提供している自動制御コースに参加するのに適するレベルの人がいないというわけではない。中国では、募集選考状況の項で既述の通り、英語の試験に合格しなければコースに応募できず、また、実務経験を持った、なるべく優秀な人材を日本に送り込もうとしている。従つて、現在のコースに対してレベルの高すぎる人が参加し、もっと Advance なカリキュラムを望むという結果になっているのである。中国が現在の応募プロセスのままで候補者を送ってくるとなると、現在の自動制御コースのカリキュラムに適合する研修員を選考するのは難しいであろう。

(2) インドネシア

(2)-1 候補者の募集、選考状況

当該国の技術協力窓口機関および帰国研修員所属機関に現状を聴取した。

① 研修員募集の手順

(Setkab) → 関係省庁 → 関係工場、機関等 → 関係省庁 → Setkab

(注記) 自動制御コースの場合……関係省庁は工業省

② 選考基準

1) 工業省は、募集要項 (G1) の参加資格要件に基づいて選考する。その際には、言語能力 (英語) だけでなく、候補者の教育背景と現在の職務を考慮する。また、九州国際センターでは、工業関係のコースを多く実施しているが、メンテナンス関係のコースについては工場から、



マネジメント関係のコースについては工業省から主に人選する、との事であった。但し、省庁ではなく民間企業から研修に出す場合、その間、その企業から人手がとられることになるため、研修に出しにくいという問題がある、との事であった。

2) Setkab (Cabinet Secretariat) 独自の選考基準及びG Iの資格要件に基づいて、最終決定する。

## (2) 2 インドネシアの自動制御技術の現状、本コースの有効性及び研修成果等

### ① PT Asahimas Flat Glass Co., Ltd訪問

現在、連絡のとれる唯一の研修員である第5回帰国研修員の所属先がスマトラ島にあるため、代りにジャカルタにある別の企業を訪問し、インドネシアにおける自動制御の現状について話を聞いた。

面接者

副社長 Mr. Mori

製造部長 Mr. Morita

森副社長より工場の概要説明があり、とくに設立から現在までの変遷および工場規模の日本との比較を中心に話を聞く事が出来た。その後森田製造部長の案内で工場内の見学をした。工場見学の印象は次の通りである。

従業員は、3000名程度であるが、同じ程度の日本の工場であれば1000名程度で運転可能との事である。自動化、省力化は必要性が少なくほとんど行なわれていない。(労働賃金が安い)ため)設備はほとんど輸入である。インドネシアの工場レベルを以上の事からある程度推察できる。

インドネシア国の従業員は、愛社精神、所属意識があまり望めず、逆に研修を受けさせて育てると、これを自分を別の会社に売り込むときのメリットにしてしまう面があるとの事であった。

### ② 本コースに対するニーズ

所属機関および帰国研修員より出された意見を集約すれば、

- 1) インドネシアの自動化状態では、本コースの研修期間、レベル及び内容で十分である。
- 2) インドネシアは豊富な労働力を抱えているが、品質の向上等、現在中級レベルの工業を高級レベルへtake offさせるため、本コースは大変重要である。

### ③ 研修員の動向及び研修成果についての調査

インドネシアは、過去3名本研修に参加しており、その中で第5回帰国研修員と面接をする事が出来た。残る2名は、転職等でコンタクトがとれなかった。

第3回帰国研修員 Mr. Eko Mulyono (銀行員転職)

第4回 " Mr. Samargi (留学準備中)

第5回 " Mr. Yurizal Hanani

事前送付した質問表に基づいて、聴取を行なった。

その結果は、質問表の集約結果に示している。

(2)-2 ①の工場見学の項でも述べたように、たとえばJICA等、海外で研修を受けた事を転職のための有利な材料にしてしまう事がある。特に、工業省によれば、民間企業は公務員の6~7倍の給料を払うため、研修を受けた工業省の職員が転職しても、どうしようもないという事であった。なお、海外で研修を受けた者が転職する場合、罰金を納めねばならない制度があるとの事だが、対象は、2年以上のマスター・ドクターコースに進んでいた者に限られ、JICAは対象外である。

### (2)-3 インドネシアにおける問題点のまとめ

帰国研修員の数が3名と少なかった上に、面談できた研修員が1名だけであったため、きわめて限られた調査内容にとどまるが、今回、面談できた研修員及び関係機関から聴取できた要望等を記すと以下の通りである。

本コースのレベルは、インドネシアから研修に出したい人材のレベルに丁度合致しており、またインドネシアの工業を高度化するために是非とも必要なコースであるとのこと。よって、本コースの目的、到達目標にも適するレベルの研修員が送られてくる可能性が高く、今まで通りのレベルのカリキュラムを組んでいくならば、インドネシアは割当対象にするに価すると思われる。

但し、インドネシアに限らないこととは言え、研修を受けた事が転職への有利な条件にされてしまう。転職先が本コースに関連のある所なら良いが、第3回帰国研修員のように、全く関連のない部門へ転職してしまう例が多くなるようであれば、研修効果の上で問題がある。

## (3) 韓 国

### (3)-1 候補者の募集、選考状況

当該国の技術協力窓口機関および帰国研修員所属機関に現状を聴取した。

#### ① 研修員募集の手順

(科学技術處) → 関係行政機関 → 科学技術處 → 外務處

#### ② 選考基準

- 1) 関係行政機関は、募集要項(GI)の参加資格要件に基づいて選考し、英語の試験も行なう。
- 2) 科学技術處独自の選考基準に基づいて、最終決定する。(言語能力(英語)と現在の職務を勘案する)
- 3) 科学技術處より、どんな研修員を送ってほしいか質問があったので、本コースの目的等について説明したところ、なるべく今後は現場サイドの人を選び送るようにしたいとの発言があった。

### (3)-2 韓国の自動制御の現状、本コースの有効性及び研修成果等

#### ① 帰国研修員所属先訪問

- 1) 起亜自動車株式会社(第5回帰国研修員Mr. Lee, Joon-Woongの所属先)

## 面接者

管理部・管理課長 趙相旭

第5回帰国研修員 Mr. Lee, Joon-Woong

第6回 “ Mr. Lee, Seok-Junも同行

F. A部次長 孔春基

趙管理課長より、会社の歴史、現在の活動状況などの説明があった。

その後、第5回帰国研修員Mr. Lee, Joon-Woongの案内で自動車の製造ライン（プレス→塗装→組立）を見学した。Mr. Leeの所属する職場は、この工場の自動化に責任を負っているとの事で、随所で、自分達によって開発・自動化された実績の説明を受けた。

組立ラインでは、まだ人手に頼っている所があり、その自動化が問題との事であった。日本の製造ラインに比べて、速度が多少遅い所が見受けられた。しかし殆ど日本に勝るとも劣らずと言ってもよい。

セミナー開催後、帰国研修員の上司孔春基氏と面談した。孔氏からは、韓国工業全体の技術の問題点、すなわち、基礎的な技術水準の業種間の差の大きさが全体の発展の障害の1つになっている事、品質の問題、中小企業の問題の説明があった。

## 2) 韓国海事技術研究所

(第3回帰国研修員Mr. Kim, Byung-Yeunの所属先)

### 面接者

船舶研究部長 梁承一

第3回帰国研修員 Mr. Kim, Byung-Yeun

梁研究部長より、当研究所の機能の説明があった。

大田市大徳研究団地は、日本の筑波をモデルに建設されている。ソウルから幾つかの国立研究所が移り、民間研究所も入っている。また博覧会も予定されている。

予算の50%以上（本研究所の場合）は政府からもらっており、それ以外は企業から援助されている。（企業は必要な技術を開発してもらうため、本研究所に資金を提供する。）

その後、第3回帰国研修員Mr. Kim, Byung-Yeunの案内で研究所内を見学する。

## ② 本コースに対するニーズ

所属機関および帰国研修員より出された意見を集約すれば、

- 1) 本コースが自動制御の基礎コースである事を認識しているためか、とくに本コースへの不満、否定的な意見などはなかった。
- 2) 工場見学及び研究所見学を通し、韓国の技術のレベルから察するに、今後も韓国を割当国に入れるならばAdvance Courseの設置が望ましいと思われる。

## ③ 研修員の動向及び研修成果についての調査

韓国からは、過去6名の研修員が参加しており、その中で5名に会う事が出来た。

- 第1回帰国研修員 Mr. Kwon, O-Hyung
- 第2回 “ Mr. Key, Moon-Ho
- 第3回 “ Mr. Kim, Byung-Yeun
- 第4回 “ Mr. Lee, Kwang-Sae (浦項製鉄転職)
- 第5回 “ Mr. Lee, Joon-Woong
- 第6回 “ Mr. Lee, Seok-Jun

事前送付した質問表に基づいて、聴取を行なった。

その結果は、質問表の集約結果に示している。

帰国研修員は日本での研修結果を生かし、重要なポジションで活躍している。

### (3)-3 韓国における問題点のまとめ

韓国の技術水準から考えると、自動制御分野で韓国の研修員を受入れる場合、現在のG Iの資格要件で候補者を募るとすると、優秀な研修員が参加する可能性が高く、従ってAdvance Courseへのニーズが出てくると思われる。起亜自動車株式会社という大企業や、研究所のみの見学であったが、そこで見た韓国の技術は大変高いものであった。

現在の本コースの実施体制の中では、Advance Courseの開設は大変難しい。G Iの選考基準を含め、検討課題は多い。

## 3. 質問表集計結果

### (1) 帰国研修員

#### ① 調査対象内容

	中国	インドネシア	韓国	合計
対 象 者	4	3	6	13
調 査 表 回 収 者	3	1	5	9
( 面 談 者 )	(3)	(1)	(5)	(9)

#### ② 参加動機 (複数回答者あり)

	中国	インドネシア	韓国	合計
自 分 の 意 思	3		2	5
上 司 の 助 言			5	5
業 務 上 の 指 示		1		1

③ 募集要項（G I）をいつ読んだか。

	中国	インドネシア	韓国	合計
応募前		1	4	5
応募後～出国前	3			3
来日後			1	1
読まなかった				

④ 来日前に本コースの目的をどの程度認識していたか。

	中国	インドネシア	韓国	合計
85%以上		1		1
75%程度			2	2
50% "	2		3	5
25% "	1			1
0%				

⑤ 本コースは当初の期待にどの程度そっていたか。

	中国	インドネシア	韓国	合計
85%以上		1		1
75%程度	2		2	4
50% "	1		3	4
25% "				
0%				

- ・コンピューターリテラシー、シーケンス制御、プロセス制御は特に自分の仕事に合致していた。
- ・技術の他、日本を知り日本人の友人を得ることができた。
- ・もともと自動制御の概念が不足していたが、コース参加が大変、自分の仕事の助けとなった。
- ・コースの科目は期待していたものが並んでいたが、内容とレベルは期待と異なっていた。
- ・（現在は期間延長されているが）かつてのコースは期間が短かく、十分な内容をカバーできなかった。

⑥ 帰国後職務に関して改善されたか。

	中国	インドネシア	韓国	合計
かなり改善された		1		1
ある程度改善された	2		4	6
改善されない				

どんな点で改善されたか。(複数回答)

	中国	インドネシア	韓国	合計
勤務条件		1	2	3
職責が向上	1	1	1	3
将来の展望				
昇給				
別の良い職務へ			1	1
仕事の内容	2	1	2	5
専門家としての認知	1		1	2
国際的人脈	1		2	3

- 自動制御のいろいろな内容を知ることができた。
- 工場の自動化に責任を持つ部門にいるが、それにはシーケンスコントロール、油圧、数値制御技術とアSEMBL言語の知識が必要であるが、それらは本コースに含まれていた。
- 大きく改善されたわけではないが、自分にとっては役に立った。
- 視野が広がった。
- 自動制御に関する多くの知識を得たが実用にする機会が充分ない。
- 自分の仕事である自動制御と、Pattern Recognitionとコース内容は大いに関係があった。

⑦ 本コースの課目のうち何が有益であったか。(無回答の欄もある)

課 目	中 国			インドネシア			韓 国			合 計		
	大変有益	有益	有益でない	大変有益	有益	有益でない	大変有益	有益	有益でない	大変有益	有益	有益でない
基礎講義(前期)		3		1			2	3		3	6	
コンピュータリテラシ		2	1	1			1	3	1	2	5	2
シーケンス制御	1	2		1			3	1	1	5	3	1
プロセス制御	1	2		1			2	2	1	4	4	1
マイコンの基礎と応用		3			1		1	4		1	8	
デジタルプロセス制御シミュレーション	1	1		1			2	2		4	3	
基礎講義(後期)	1	1		1			2	3		4	4	
産業用電気制御システム	1	1		1			4	1		6	2	
工場研修(見学)	3				1		4	1		7	2	
研修見学(旅行)	3				1		4			7	1	

- ・コンピューターリテラシーは、電気技師には簡単すぎる。
- ・プロセス制御は、興味が持てなかった。
- ・シーケンスコントロールでは、relay magnet のような部分等は既知の事であった。(PLCは別)

⑧ 研修で得た知識を帰国後どの程度応用できたか。

	中 国	インドネシア	韓 国	合 計
85 % 以上	1	1		2
75 % 程度	2			2
50 % "	1		3	4
25 % "			2	2
0 %				

どんな風に応用できるか?

- ・教員なので得た知識すべてを活用できる。
- ・コンピューターリテラシー、シーケンス制御が特に有用であった。
- ・プロセス制御が役立つ。

- 日本の自動制御関係の技術情報の入手法と専門家とのコンタクトの方法を教えられる。
- 基礎理論と応用。
- いろいろな講義から、アイデアを得た。
- ほとんどすべての講義が自分の仕事に合っており、特にプロセス制御、デジタルプロセスコントロールシステム、マイコンの応用、見学でふれた高技術が大変役に立った。
- コントローラーの最適調整、シーケンス制御の維持、日本で受けた研修方法をもとに、自分のスタッフを研修させること、新規プロジェクトや企画更新等におけるシーケンス制御の修正等で応用できた。

どんなところが応用できないか？

- コントロールセオリーは講義ばかりで実習がない。
- プロセス制御は、自分の職務とは関係ない。応用できなかった。
- デジタルプロセスコントロールシステムシュミレーションでは、特別のシュミレーターを使ってなされた。PCをシュミレーターとする場合はどうなるのかわからない。
- C言語は時間や機器、工場内のさまざまな問題から応用することができなかった。

⑨ 習得した知識、情報をどの程度移転できるか。

	中国	インドネシア	韓国	合計
85 % 以上				
75 % 程度	2	1		3
50 % "	1		5	6
25 % "				
0 %				

- 会議で学んだ内容や方法を発表し、また設計現場で同僚と意見交換した。
- シーケンス制御が移転できた。
- 多くのカタログ、マニュアル、ビデオテープ等を手に入れた。
- いろいろな場で、シーケンスコントロール、プロセスコントロール、インダストリアルエレクトリックコントロール等を説明している。
- 進んだ機材や技術、研修方法、製造業の現状等の情報、その他関連した進んだ技術について伝えることができた。
- コントローラーの最適調整、シーケンス制御、Learning by doingの方法の考え方を伝えられた。



⑩ 帰国後どのような報告を所属先に提出したか。

- コースの概略、感想を説明又はレポートとして提出。
- 日本の自動化の状況についての報告。
- 日本でのさまざまな経験を報告。
- アクションプランの提出。

⑪ 本コースに対する改善、要望（新しい科目の追加）

- 科目によって難しすぎるもの、簡単すぎるものとはらつきがあるのを統一してほしい。
- 1年間のコースにしてほしい。半年を概要にあて、あと半年を研修員個々の興味に応じた選択科目とする。
- ロボット技術がカリキュラムに含まれている方がよい。
- ファジー理論を使ったプロセス制御
- 3ヶ月では、すべての科目を詳しく学ぶには不十分である。
- V V V F、Central-Distributedシステム、PLCのような応用技術を加えてほしい。
- 帰国研修員のための高レベルのコースを設けてほしい。
- 小規模の制御システムの設計実習を加えるとよい。そうすれば、どれだけ知識が身についたかははっきりするとともに、練習にもなる。
- 計装について詳しく意見交換したかった。

⑫ 自分の職務遂行上もっとも大きな問題点

	中 国	インドネシア	韓 国	合 計
装 置 不 足	1	1	1	3
予 算 不 足	2		2	4
訓練された従業員不足		1	3	4
外国の専門家不足				
研究施設不足	1	1	2	4
人事制度不備				
上司の援助不備				
技術文献不備	1	1	4	6
国内産業不備	1	1	1	3
国内研修機関不足		1		1
国内情勢	1			1
外貨不足	2		1	3
そ の 他				

- 国内研究機関、国内産業が貧弱で必要なサポートが得られない。
- 潜在的な必要性はあるのに、資金不足で自動化できない。
- メンテナンスが難しい。
- 研究機関が少なく、自分自身でシミュレーターや研究装置をつくるのに時間をとられる。

### ⑬ 自国の自動制御で直面している課題

- 研究開発部門での基礎研究を現場の設計部門に応用するという技術開発のシステムがない。(韓国)
- マイコンと電気制御について、製造部門での認識が少ない。(韓国)
- 必要な部品の入手が困難(サーボモーター等)。(韓国)
- 大規模なシステムを自動的にコントロールすることへの一般的な認識と財政的な裏付け。(韓国)
- 自動制御等を用いて機械を改良、発展させようということより、一般的には機械を買うことに慣れてしまっている。(韓国)
- 外国企業との効果的な協力の推進。
- 古い機器は、新技術の応用の妨げとなる。
- 既存のプロセスコントローラーはDDCとDCSプロセスコントローラーにとって変わられるであろうが、職員、オペレーター共にそれに対応できるようになる必要がある。

(2) 技術協力窓口機関

	中 国	インドネシア	韓 国
窓口機関	国家科学技術委員会	Cabinet Secretariat (Setkab)	科学技術処
①研修員選考 手順	既 述	既 述	既 述
②選考基準	科技委独自の基準にもとづく。 (大学卒後、2年以上の実務経験があり、すぐれた実績を持っている者)	Setkab独自の基準およびG Iの資格要件にもとづく。	科技処独自の基準にもとづく。(英語力、現職を考慮)
③選考基準変更 の可能性	しばらく変わらない。	同 左	同 左
④G I内容の 明確性	研修プログラムと研修ガイドをなるべく早めに提出してほしい。	明 確	明 確
⑤帰国研修員 からの報告の 有無	帰国研修員は、派遣した所属先又は地方科技委に報告。国家科技委は、所属先又は地方科技委からの報告を聴取する。	帰国研修員は自由なフォームでレポートをSetkabに提出(提出してこない研修員もいる)	レポートの提出
⑥本コースへの 意見	特になし	特になし	特になし

(3) 研修員所属先

	中国 (2ヶ所)	インドネシア(2ヶ所)	韓国 (5ヶ所)
①研修員選考手順	<ul style="list-style-type: none"> <li>・上司に推せんされた候補者をGI資格にもとづき選考</li> <li>・まず関係する部署から選り出したあと、仕事、英語力で選考</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・研修内容に合った省庁内の部署や公営企業から選ぶよう指示</li> <li>・公営の場合もあるし、又特定の分野の研修については直接指名することもある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・上司に推せんさせる。</li> <li>・公募するが、勤続年数、TOEICのレベルなどの制限がある。</li> </ul>
②選定試験の有無と種類	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地方科技委による英語試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・学歴、現職、英語力を勘案し選定</li> <li>・勤続年数、所属先での重要度、年齢等を勘案し選定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・英語試験</li> </ul>
③選定基準	<ul style="list-style-type: none"> <li>・GIにもとづく。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・GIにもとづく。</li> <li>・GIと独自の基準にもとづく。(学歴、現職、英語力がGIの資格に合っていれば問題なし。もし合っていないなくてもその研修が有効と思われるときは推せんする。)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・GIにもとづく。(3ヶ所)</li> <li>・GIと独自の基準にもとづく。(現職と職歴を勘案)</li> <li>・独自の基準にもとづく。</li> </ul>
④GI接受の時期	<ul style="list-style-type: none"> <li>・余裕をもってうけとった。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・余裕をもってうけとった。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・余裕をもってうけとった。(3ヶ所)</li> <li>・おそかった。(2ヶ所)(コース開始の2ヶ月前にはほしい)</li> </ul>
⑤帰国後の報告	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コース内容、成果、提言等の簡単なレポート</li> <li>・コース内容や日本での経験についてのレポート</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・研修の成果や日本での経験についてのレポート</li> <li>・コース内容、研修技術等の手法、日本の文化、伝統、日本人とのつき合い方、日本の労働システム等のレポート</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・コース内容、日本での経験についてのレポート</li> </ul>
⑥研修参加と人事評価の関係(研修参加は有利な条件になりうるか?)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ある程度考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ある程度考慮</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・大いに考慮(1ヶ所)</li> <li>・ある程度考慮</li> </ul>

	中国 (2ヶ所)	インドネシア(2ヶ所)	韓国 (5ヶ所)
⑦本コースへの意見	<ul style="list-style-type: none"> <li>・期間を延長し、新技術、応用技術および研修旅行のための時間を多くとってほしい。(注:研修期間が短かかったころの研修員の所属先)</li> <li>・研修員と日本の研修機関との連絡を保てるようにしてほしい。</li> <li>・新技術と新しい機器を使っでの操作訓練と、制御システムの実際の設計を加えることよいのでは。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自国の現状にてらして必要とされる能力に対し、本コースの長さ、レベルは十分である。</li> <li>・十分なコース内容であるが、日本で実習をもう少しできたら、より効果的と思われる。例えば2ヶ月間延長するなどして。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・研修内容はもっと専門性を深めた方がよい。</li> <li>・本当のノウハウに製造ラインでもう少し触れられたらよい。</li> <li>・期間と内容は目的にてらし十分であるが、レベルを深め、研修員が帰国後、自分で研究開発ができるようにした方がよい。</li> <li>・概ねよいが、各種の応用を伴う基礎知識をもっと説明した方がよい。</li> </ul>
⑧自動制御分野の全国統計	<ul style="list-style-type: none"> <li>・特になし。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・特になし。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・特になし。</li> </ul>
⑨自国の自動制御分野の将来の見通し	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自動制御分野の発展の潜在的可能性は大きい。特に危険な環境での作業や、製造部門におけるロボットの使用などである。工業と農業分野では、自動制御が急速な発展に大いに助けとなるものである。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・工業分野での労働者には、自動制御の知識が不足している。特に計装分野において、実務的研修をしてほしい。</li> <li>・インドネシアではいろいろな局面において発展中であり、自動制御もそうである。近い将来、自国において自動制御が先導的役割をはたすと思う。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・将来、自動制御は大変重要なものとなるので、日本から新技術を学ぶ必要がある。</li> <li>・韓国では、制御理論そのものや制御のハードウェア技術については大学でよく教育されていると思う。しかし工業レベルで考えると、3C(コントロール、コンピューター、コミュニケーション)の総合技術は全く発展していない。CIM、物流自動化システム、CTCからATCへの列車コントロールシステム等の総合技術が研修に含まれるとよい。</li> <li>・自動制御は機械の性能や製品の品質を高めるために使われていくであろう。「ダイナミックシステムにおけるコンピューター制御」は、加える価値のある科目と思う。</li> </ul>
⑩帰国後の研修内容活用度	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ある程度活用</li> <li>・かなり活用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・かなり活用</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・かなり活用(1ヶ所)</li> <li>・ある程度活用(4ヶ所)</li> </ul>

#### 4. まとめ ― 問題点と提言

##### (1) 調査結果

今回の自動制御集団研修コースのフォローアップチームの目的は中国、インドネシア及び韓国の研修員の帰国後の活動状況、所属機関における仕事の現状、援助窓口機関、研修員所属機関内の研修員選抜の基準などを調査し、今後の自動制御コースのカリキュラム、研修期間等の検討に役立てると共に、新しい技術の紹介の目的で、帰国研修員を中心とした技術者に対して、セミナーを開催することであった。調査は、各機関及び帰国研修員に対する質問票と面接により行ない、それらの結果のまとめは、別項に示した通りである。また、セミナーの内容及び出席者についても別項に示している。

##### (1)―1 援助国窓口機関及び研修員所属機関

いずれの機関においても本コースに対する評価は高く、出来るだけ多くの研修員を受入れてほしいという希望があった。また、研修員選抜の手順、条件などの情報を得ることができて有益であったし、JICA側から本コースの目的と実体の説明を行なったので、更に先方の理解を深めるのに役立ったと考える。

調査団として特に先方に対する希望はないが、後述の提案によって本コースに若干の修正が行われた場合には、その点を注記して研修員の選抜の際に考慮をほらうのが良策と考える。

##### (1)―2 帰国研修員の現状と本コースに対する希望

研修員は帰国後、少数の例外を除き、以前と同一の機関で、自動制御に関係のある仕事を行なっている。本コースが、彼等にとって有益であったことは全員が認めており、また研修コースで学んだ結果が帰国後に役に立っているか、という点に関しては、否定的な回答はないが、その程度については微妙な違いがあると感じる。この違いの原因は研修員のバックグラウンドと研修に対する期待の違いにあるようで、後述の研修の内容に対する希望と密接な関係がある。

例えば中国の帰国研修員は、ファジィ制御、ニューロネットワークによる制御、AIなど、先端の制御技術の研修を希望し、韓国の研修員は、研修内容を選択できるようにしてほしいと希望している。これら2国からの研修員の多くは、研究所や大学に所属し、大学院マスタコース修了の学歴をもち、研修時も優秀であると評価されている。彼等にとって基礎的な制御の知識は既知の内容であり、更に進んだ知識を希望するのも当然である。これらの研修員も研修内容を評価しているものの、具体的に何がよかったかについては、工場の見学、情報の収集などにかたよっていることがわかる。

一方、今回のインドネシアの研修員の場合は、研修の全般を評価し、帰国前に提出したaction planに従って、自国企業内で研修、セミナーなどの開催を準備している。彼の場合には研修の結果が十二分に活かされているといえよう。また他の2ヶ国においても、基礎的な本コースで研修を受けるのに適するレベルの人材は多くいるが、選抜の段階で優秀な研修員を送りたいという

考えからか、選抜される場合は少ないようである。

### (1)ー3 工場見学

訪問3ヶ国において、短時間ながら、しかも各国1ヶ所だけではあるが工場、研究所を見学することができた。これから全体を推測することは危険なことは理解しているが、一応印象を記しておきたい。

中国では研究所及びその試作工場（或る程度の製品と考えてよい）を見学した。部品や予算の不足をなげいていたが、技術、設備ともに先進国のそれに比しておけている。

インドネシアでは研修員に関係はないが、日本の企業との合弁である板ガラスの工場を見学した。ここでも自動化はおくれている、日本であれば1/3の人数で操業が可能であるとのことであつた。

韓国では新鋭の自動車工場と研究所の設備を見学することができた。いずれも設備として我が国のそれとほとんど変わらず、相当に高いレベルにあることがわかった。また、自社、自機関において、研究、開発、研修の能力を十分もっていると判断される。

### (2) 問題点の集約

以上の調査結果から現状の自動制御研修コースの問題点を指摘すると次のようになる。

(2)ー1 過去1～2回の研修員の間には国情の違い以上に技術的バックグラウンドの違いがある。高い技術レベルをもつ研修員は最近のトピックス、あるいは先端の制御技術の研修を希望し、基礎的な内容で満足しない。

(2)ー2 上記のレベルの高い研修員の希望は、レベルの違いだけではなく特定の分野に対する興味を持ち方によっても異なってくる。自動制御技術は広い技術分野に関係するので、研修員が自分で取り扱っている分野の制御技術の学習を特に希望する場合が生じ、研修内容の選択を望む。

(2)ー3 一方、企業などの制御技術者で、現在の研修内容のコースで十分に希望を満足する研修員も多数存在し、このような研修員に対する対応も考えなくてはならない。

### (3) 提言

前項でまとめた問題点に対応するため次の提言をする。

現在の自動制御集団研修コースのなかに、前項で示した研修員の希望を全部取り入れることは、研修の期間、研修の設備、スタッフを考えてみると不可能に近い。そこで、次に示すような対応を提案する。

(3)ー1 現在の自動制御集団研修コースは若干の修正をして続けてゆく。

今回の訪問国のうち中国、インドネシアの工業は、十分に発展しているとは言いがたく、自動制御技術についても基礎的な知識の必要な技術者は多数いる。また、比較的先進的な技術をもつ韓国においても同様であり、基礎的な自動制御コースの必要性はある、と考える。本コースが自動制御の基礎的な部分をカバーすることを相手国側に対し明確に示し、また、実務者の研修が重

点であることをはっきりさせ、更に高度の内容の研修を希望するものに対しては別の対応を考えるべきである。

- (3)ー2 高度の研修を希望する研修員に対しては別の新しいコース、例えば自動制御のadvance courseを用意するか、または個別研修で対応が可能であろう。advance courseを新設する場合に、現在のコースの上部に設けるかどうかは検討の余地がある。ファジィ制御、ニューロネットワーク等は、現在、研究開発が進んでいる分野であり、企業における実習、見学が可能か、固定した（毎年内容を変えることなく）講義などが可能か、どのような形で、どこが責任をもって受け入れるか、などが考えなければならない問題として残されるであろう。
- (3)ー3 研修内容の選択の問題も、別の新しいコースを設けて対応するのが適当と考える。前にも述べたように、自動制御技術は広く他の技術分野と関係するので、幾つかの特定分野の制御技術を1つのコースにおいて研修するのは無理がある。例えばモータの制御に関しては電気制御コースなどが考えられ、油圧、空気圧を用いた流体制御コースなどがこの希望に答える方法であろう。
- (3)ー4 以上で提案を終るが、この提案は、北九州地域で九州国際センターのなかで行なわれている研修及び周辺の企業の実状のみからの結論であり、更に広い視野では別の解決策があるかもしれないことを付記する。例えば、Advance Courseにおいては、より専門性を深くするため、大学等に委託し研究型のコースとして開設すれば、レベルの高い研修員のニーズに合致したコース作りが可能と思われる。



### Ⅲ. 技術セミナーの実施内容

#### 1. 概 要

本セミナーは、研修修了者に対して、最近の自動制御技術の進歩に関する情報を与えることを目的に実施した。内容は講義とビデオによる工場の実体の紹介の2部からなり、表題は2種を用意した。

##### 講義1；インテリジェントセンサー及びインテリジェント計測

自動制御システムのなかで情報の入力装置の先端にあるセンサー及びセンサーを含む測定装置の優劣は、制御の質を直接に左右する。本講は、最近のセンシング技術の動向を概観すると同時に、インテリジェント化の具体例を示して、将来の計測システムの姿を示した。

##### 講義2；流体量測定の最近の傾向

自動制御システムのなかの制御対象で重要なものの1つである流体量の測定技術につき、最近の傾向を講義した。またセンシング技術の最近の傾向であるインテリジェント化についてもふれ、将来の計測システムの姿を示した。

#### ビデオ上映

ビデオ1；Yamatake-Honeywell Group's Production System

2；Yaskawa Today

Motion Technology in Action

3；Yaskawa Tokyo Plant

Launching as a World Leader with Mechatronics Technology

4；Seibu Electric and Machinery

Challenging Ultra-Precision and Mechatromation

以上の講義、1または2、または1及び2をまとめた内容と、ビデオ2～4本を選択して上映した。

#### 2. 技術セミナー実施状況

##### (1) 中 国

日 時：12月8日（日） 9:30～12:00

場 所：濱 江 飯 店

演 題：インテリジェントセンサー及びインテリジェント計測

講演者：団長 小宮勤一 博士

参加者：武漢市科学技術委員会国際科技合作処処長 李 西 曼 氏



B P P T (科学技術評価応用庁)

Ms. Endang, S.

”

Mr. Latief

ビデオ上映 : 4種

(3) 韓 国 (2回開催)

日 時 : 12月18日 (水) 14:00~16:00

場 所 : 起亚自動車株式会社研修室

演 題 : センサーとセンシング技術

講演者 : 団長 小宮勤一 博士

参加者 : 起亚自動車株式会社

”

李 鍾 国 氏

”

朴 政 淳 氏

”

白 承 球 氏

”

金 顕 植 氏

”

張 在 植 氏

”

咸 明 鎮 氏

”

羅 得 均 氏

”

崔 在 範 氏

”

李 省 穆 氏

”

李 正 相 氏

”

白 承 雨 氏

”

朴 盛 煥 氏

”

孫 興 基 氏

”

鄭 孟 和 氏

”

宋 致 泳 氏

”

金 正 洙 氏

”

李 時 哲 氏

”

安 成 澤 氏

”

崔 永 滿 氏

”

車 柱 燮 氏

第5回自動制御コース帰国研修員

Mr. Lee, Joon-Woong

第6回

”

Mr. Lee, Seok-Jun

ビデオ上映 : 3種

日 時 : 12月19日 (木) 10:30~12:00

場 所 : 韓国海事技術研究所会議室

演 題 : 同 上

講演者 : 同 上

参加者 : 第1回自動制御コース帰国研修員

第2回 "

第3回 "

韓国海事技術研究所

"

"

"

"

"

"

"

権 五 享 氏

桂 文 浩 氏

金 柄 演 氏

李 旼 默 氏

李 種 茂 氏

趙 一 衡 氏

Mr. Son Young Su

Mr. Yong Kon Lim

Mr. Hong Soon Shul

Mr. Sang Hyun Suh

Mr. Sang Chul Lee

ビデオ上映 : 2種

### 3. セミナー原稿

#### INTELLIGENT INSTRUMENTATION AND INTELLIGENT SENSOR

The industrial field has always been dependant on the measuring instruments. By this reason, the technology of sensors and instrumentation have a long tradition.

Today, several ten measuring variables need solutions, mostly concerning measuring range and application in various aspects. Each solution involves various physical effects and technology, and many publications on sensors and sensing technology have demonstrated those multiplexity.

Among those publications we can find, two or three interesting tendencies, the applications of micro processers in the measuring systems, applying the IC techniques or micro-mechanical technology in the sensor manufacturing, and applying new materials as sensors. Some of those sensors are called an "intelligent sensor" or a "smart sensor".

What is the intelligent sensor? Many definitions of smart sensor or intelligent sensor were given. /1,2,3/

/1/ J.M.Fravenec; Smart sensor in industry, J. Phys.E Instru. 20, (1987)

/2/ S.K.Howell,T.D.S.Hamilton; Intelligent instrumentation

/3/ R.F.Colvile; Intelligent instrumentation for process measurement, Meas. & Cont. 17,(1984)

/4/ J.E. Brigrell; Smart Sensors, Sensors, A comprehensive Survey, Vol.1 HVC,(1989)

Someone defines the intelligent sensor

equal a microprocessor,

sensor with microprocessor

sensor with several elements and data processing circuit are on a single Si chip (Middelhok).

/5/ H.Yamasaki; Intelligent sensor (in Japanese), SICE ,New sensing technique (1988)

Other states more precisely, that is the intelligent sensor is a sensor which has following functions.

1. reject extra ordinary data,
2. data processing function,
3. automatic calibration or compensation function,
4. having some algorithm which can be changed,
5. having some amout of memory. (Breckurdge & Husson)

I understood that those definitions of the intelligent sensor include many different things, and each definition is given from the different view points. The definition which is approved by industry will appear in future.

From my point of view, intelligence is a very particular feature of human beings and the sensors which perform the function to those of human beings such as perception, are called intelligent sensor.

To realize an above mentioned intelligent sensor, it is necessary to integrate the detector devices and the associated information processing devices together with memory devices. That kind of fabrication technique and the sensors with the function of perception are still developing stage and actual intelligent sensor will appear in future.

/ 6/S.Kataoka; Intelligent sensors, IMEKO TC7 Int'l Sympo. on AIMaC'91, Kyoto, Japan

/7 / L.Finkelstein; Theoretical Basis of Intelligent and Knowledge based Instrumentation, IMEKO TC7 Int'l Sympo. on AIMaC'91, Kyoto, Japan

On the otherhand, the solutions needed in the measuring techniques may involve the following problems.

- 1) Detection of 2 or 3 dimensional quantities
- 2) Detection of the psychophysical quantities
- 3) visualization of invisible state

I take examples of the above mentioned needs in the industrial measurement. We have many kind of flowmeters and those detect the flow rate or flow velocity of one point. Actual flow of fluid is three dimensional and for the purpose of more accurate measurement, we have to know the velocity profiles. The ordinary temperature sensor detects the temperature of one point, for example, in a furnace. The information we need is, in most case, temperature distribution or temperature pattern in the furnace.

The examples of the second category are the detection of the freshness or taste of a fruit, detection of the gloss of a material.

The third category is inspection of the inner part of materials, or detection of the underground conditions without destruction.

A general image of intelligent sensors seems to be one chip device in which sensors and microprocessors are integrated. Some of those systems will become intelligent sensor by using integrating technology of devices. Although, there are other

different technological approaches to realize the objectives, such as, new materials, new functional structures integration with computers. The responding technique to the above needs could be achieved by use of measuring system with computers, and those are could be called intelligent instrumentation.

The points I emphasize here is that the role of microprocessor is a main part of the intelligent sensor and intelligent measuring system.

/8/ H.Yamasaki; An approach to intelligent sensors, Proc. 4th Sensor Symposium, (1984)

I am not interested in the definition of intelligent sensor or intelligent instrumentation, but the progress of sensing technology, and actual "intelligent" will appear on the extension of the progress.

Typical examples of the approaches to the intelligent sensor will be described and, I would like to say, more general explanation as intelligent instrumentation.

## 1. DIFFERENTIAL PRESSURE SENSOR

One of the typical examples of so called "smart sensor" is a differential pressure sensor.

/9/ A.T. Bradshaw; Smart pressure transmitter, Meas. & Cont. 17 Oct. 1984, p.353

This is based on silicon ion implant technology and combines advanced in silicon technology with the use of a perfectly electric drift free materials to provide an accurate stable sensing element. Total transmitter drift is specified as  $\pm 0.06\%$  upper range limit /year.

This sensor senses three variables, Fig.1 shows the front face of the sensor with the following sensing elements pointed out. The differential pressure across the silicon tip is sensed by a Wheatstone bridge arrangement of four piezo-resistive elements, two of which increase in value with applied pressure and two which decrease. With a constant voltage across the bridge this gives a quadrupling effect on the electrical change and hence a high millivolt output.

The static pressure is also sensed by a Wheatstone bridge network of resistance. That is situated on the section of silicon in close proximity to the bond of supporting tube of glass. The different coefficients of compression of silicon and glass results in a piezo resistive measurement of applied pressure.

Temperature is also sensed by a single resistance element.

Fig.2 shows the logic diagram of the sensor. SPM (signal pulse modulator) converts the analogue signals from the sensor into a pulse modulated digital signal. The gain of the SPM is automatically changed to provide the very high input resolution requirement. The compensation data which is got at the manufacturing period, are stored in the ROM of each device.

## 2 TACTILE SENSING

Tactile sensing may be defined as the continuous sensing of forces in an array. Consequently, distinction must be made between this and force sensing at a point. If tactile sensing is to be considered as an approximation to human skin-like properties, then a model emerges of areas of force-sensitive surfaces that are capable of generating a pattern information between object and sensor.

/10/ B.V.Jayawant; Tactile sensing in robots, J. Phys. E, Instrm. 22, (1989)

The numbers of attempts at producing the tactile sensors have been done and one of those will be described.

/11/ M.Ishikawa, M.Shimpo; An Integrated Tactile Sensor with parallel processing LSI, Proc. SICE, (1987)

The construction of the sensor is shown in fig.3. It consists of two plates, processing part and sensing part and size of 46 mm \*46 mm . The detecting part detects the pressure distribution into the resistance change of the pressure conducting rubber. The electrodes are installed as strips and the others are pattered electrodes. The later avoid the non-sensitive part and non-directional properties.

The pattern recognition is processed by a custom LSI(SPE-8). The result of the tactile imaging are shown in fig. 4. The point of this sensor is that the tactile which is a complex quantity, is detected by this sensor and the output is shown as an image. The sensor not only detect the pressure distribution but also it has a data processing part. This is an approach to the intelligent sensor and the distributed data processing system may be the important part of instrumentation system in future.

## 3 SMELL IDENTIFICATION

/12/ M.Kaneyasu, et al.; Smell identification using a integrated sensor and pattern recognition---Smell identification model by



GMDH (groupe method of data handling)

Olfaction is one of the sense of human and olfactory detection is very important in daily life. The mechanism of olfaction is very complicated and explanation of this mechanism is expected.

On the otherhand, the olfactory detection by a sensor is expected in the industry, and many developments have been reported. The following is one of those developments and is considered to be one step of the approach of intelligent sensor.

This is an analytical method of identification and quantifying smells using an electronic system composed of an integrated sensor and a microprocessor. The integrated sensor with six different elements on an alumina substrate was fabricated by use of the thine film techniques.

The elements are kept at around 400°C by a Pt wire heater mounted on the sensor back. As the each element was made from different semiconductor oxide, they have differnt sensitivity to material odors and the integrated sensor can develope specific patterns corresponding to each odor as a histogram of conductance ratios for each element.

The micro-computer identifies the characteristics of smell on the basis of the similalities calculated by comparing with standard patterns stored in memoey and sampled pattern developed by the integrated sensor. The scent is then quantified by use of the sensor element with the highest sensitivity to the smell identified about 1 ppm.

A model for the smell quantification in state of mixture of differnt two scents has been developed. The model is essentially based on the GMDH algorithm and in need of some data sampled from the integrated sensor in differnt temperature by a voltage of Pt heater.

Fig.5 shows the schematic drawing of integrated sensor. The six sensing elements are ZnO, WO<sub>3</sub>, SnO<sub>2</sub> and added them Pt or Pd.

#### 4 INTELLIGENT OPTICAL ODOR SENSOR

Learning from the information processing system of human olfaction mechanism, a similer principle is employed to realize an intelligent optical odor sensor. Fig.6 shows the concept of such sensor using photo sensitive organic films. When an unknown smell comes on the receptor plate which consists of a 2-D array of various functional dye films, a particular colour pattern will appear according to the kind of odor. By discriminating the pattern, the kind of input odor can be identified.

Fig.7 shows the output pattern displaid on a CRT for the

optical system using LED's and photo-detectors. Thus, odor or smell can be sensed visually or with the help of optical technology.

161

## 5 3D- LSI CHARACTER RECOGNITION INTELLIGENT SENSOR

This example suggests the one of the feature of the intelligent sensor. An animal retina, which consists of massive array of parallel elements with multi-level connections, is the best reference the one-chip character recognition intelligent sensor. (fig.8) Optical sensor array, signal processor and memory devices are vertically stacked with vertical connections for parallel processing. The conceptual function of this 3-D intelligent image sensor is shown in fig.9. A microprocessor integrated with an imager and a memory executes parallel computation for a image. A handwritten character image is translated into a normalized print character in the chip.

The system is designed for implementation of character recognition by template matching on a 10\*14 bit matrix. This matching method employs image data input, binarization, data hold and comparison with stored data. An associative memory is adopted for highly parallel comparison. Photosensor array for image data input, digitizer for binarization, data hold and data mask, and associative memory are allocated in a separate layer in the four-layer 3-D IC as shown in fig.10, and processing sequences are executed asynchronously without any specific clock signal in each layer. The system is designed to improve the redundancy of character recognition.

The image data signals sensed in the top layer are processed during the downward parallel propagation to the bottom layer and finally compared with the stored data. If a stored character is found matched to the input image, the word line for the character is latched and the recognized is given as an output.

Even if the input character has several faults in the 30\*14 bit matrix, the output character has a corrected form in the 10\*14 bit matrix. The actual 3-D IC chip is fabricated by SOI (silicon on insulator) technology and has dimensions 14.3 mm square with 55,000 photo diodes on 4th, 44,000 transistors on the 3rd, 51,000 transistors on the 2nd and 129,000 transistors on the 1st floors on 2  $\mu$ m design rules, respectively.

The circuit design on this chip is basically made according to the design method of conventional 2-D IC. However, if we develop a real 3-D circuit design method with new 3-D architecture, including a kind of neural network, then completely new types of intelligent sensor devices may be realized.

## 6 APPLICATION OF CT TECHNIQUE

/13/ R.J.Santoro and H.G.Semerjan; Optical Tomography for flow field diagnostics, J. Heat and Mass transfer. 24,7. (1981)

The TC technique was developed mainly in the field of medical engineering and made a large step in medical diagnostics. This technique has been applied in industry and also was made much progress. In this technique, the role of computer is main part and this is an instrument with computer system. The measurement by use of this technique should be called intelligent instrumentation.

I give an example of this technique in industry which was at the very first stage. Flow fields typically encountered in combustion and the high temperature reacting flow are spatially and temporally variant and quite complex. The optical tomography which extends the application of absorption diagnostics to non-uniform flow.

Optical tomography has been applied to an off-axis turbulent methane-air free jet to determine methane concentration throughout the mixing region. Optical tomography is a multi-angular absorption technique which involves making M line of sight absorption measurements (projections) at N angle. Those M\*N measurements are then used to reconstruct the original two-dimensional flow field. Absorption measurements were made on methane using the near resonance 3.39  $\mu$ m line of a He-Ne laser. Mean concentration measurements were obtained at three positions downstream of the jet exit plane. Comparison profile shows good agreement. Additionally, the sensitivity of the reconstructed results of the number of the angles and scans used is freely described. The results demonstrated the unique capability of optical tomography for flow field diagnostics.

The multiangular absorption technique involves the measurement of absorption along M equally spaced parallel beam at N equally spaced angles, forming an M\*N data set from which it is possible to retrieve or reconstruct the original property of field. The absorption along each individual beam is governed by the Bouguer-Lambert-Beer law which can be expressed as

$$I_{\nu}/I_{\nu 0} = \exp \left( - \sum N_{\nu i} Q_{\nu i} ds \right) \quad (1)$$

where  $I_{\nu}/I_{\nu 0}$  is the ratio of the transmitted to initial intensity at frequency  $\nu$ ,  $N_{\nu i}$  is the concentration of species i which absorbs at frequency  $\nu$ ,  $Q_{\nu i}$  is the absorption cross section for  $N_{\nu i}$  at frequency  $\nu$ , and s is the path length. This equation may be rewritten as (see fig.11)

$$-\ln \frac{I_p(r, \theta)}{I_{p0}} = P(r, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} F(x, y) ds \quad (2)$$

where  $r = x \cos \theta + y \sin \theta$ ,  $s = -y \sin \theta + x \cos \theta$ .

$P(r, \theta)$  is defined as the projection for the angle  $\theta$ . Since the ratio  $I_p/I_{p0}$  can be measured experimentally,  $P(r, \theta)$  is known and the solution of eq. (1) for  $F(x, y)$  will yield the desired property field  $(N_{y_i}, Q_{y_i})$ . Thus the multiangular scanning technique is based on the reconstruction of a property field  $F(x, y)$  from a set of its projection  $P(r, \theta)$ . This is the bases of computed tomography and many algorithms were proposed.

The one of the solution procedure utilizes the convolution technique was developed by Ramachandan and Lakshminarayanan. The result is given by

$$F(x, y) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} d\theta \int_{-\infty}^{\infty} P(\tau, \theta) \phi(x \cos \theta + y \sin \theta - \tau) d\tau \quad (3)$$

where  $\phi(r)$  may be interpreted as a weighting function of the distance from the point  $(x, y)$ , where the property  $F(x, y)$  is to be evaluated, to  $r$  where a value of the projection  $P(r, \theta)$  is evaluated. The choice of the function  $\phi(r)$  greatly affects the computational requirements as well as the accuracy of the results.

$\phi(r)$  can be considered a filter function and its selection must be dependent on the noise of the instrumentation system as well as the bandlimit of the function.

Since  $P(r, \theta)$  is known only in the sampled domain, the integrals in eq. (3) must be replaced by their discrete summations. Thus,

$$F(x, y) = \frac{1}{2N} \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^M P(r_k, \theta_j) \phi(x \cos \theta_j + y \sin \theta_j - r_k) \quad (4)$$

where  $a$  is spacing between uniform samples and

$$\theta_j = (j-1)\pi/N, \quad r_k = k a$$

Fig. 11 shows the principle of optical tomography. The projection data were analyzed and a reconstruction of the concentration profile at each axial position was obtained. The reconstruction results is shown in fig. 12

## 7 VELOCITY MEASUREMENT BY USE OF ADAPTIVE SPATIAL FILTER

/14/ H.YAMASAKI, ET.AL. ; AN ADAPTIVE INTELLIGENT VELOCITY SENSING SYSTEM, TRANSDUCER '87 (1987)

One of the non-contact velocity sensing methods in scientific and industry is optical velocity sensing system utilizing spatial filter. A moving object having a two dimensional optical pattern  $f(x,y)$  is projected through a optical parallel slit reticle  $g(x,y)$ , and projected light is focused on a photosensor is described as  $e(t)$  in eq.(5)

$$e(t) = \iint f(x-ut, y-vt)g(x,y) dx dy \quad (5)$$

where  $u, v$  are object's velocity in  $x, y$  direction respectively. Multiplication and spatial integration on in eq.(1) are performed optically.

If the object moves in  $x$  direction only, the output  $e(t)$  fluctuate periodically and the relative velocity between the object and the reticle can be measured from dominant frequency as given in eq.(6).

$$f = M*u / p \quad (6)$$

where  $M$  is magnification of optical system,  $u$  is relative velocity and  $p$  is pitch of parallel slit reticle.

The inherent feature of the system is simple structure and rapid response. However following problems are left unsolved. (1) No signal is obtained if the characteristics frequency is not contained as spatial frequency component on the object's surface, (2) The less sensitivity for the slower velocity, (3) No direction of the movement is identified.

The improvement to overcome the above mentioned unsolved problems was proposed. The basic feature of this proposal is that a spatial filter build by video signal. The system consist of two dimensional image sensor, periodic signal generator, switch modulator and electronic integrator as shown in fig.13.

The image of the object is constructed on the image sensor through the lens, and it is converted into sequential video signal. The signal is modulated by rectangular wave generated by the periodic signal generator. The rectangular wave signal corresponds to the weighting function of optical spatial filter which is realized as a parallel slit reticle.

The modulated signal is integrated for a scan period of one frame. The integrator output sampled and held at the end of the image scan, corresponds to an instantaneous output of the photo sensor in the full optical system. Flexibility of spatial filter is enhanced by this approach.

The adaption for objectives is carried out by following procedure. (1) Calculate power spectrum of a series of video signal from one image frame by FFT. (2) Select the highest peak in the spectrum. (3) read the peak frequency. (4) Calculate Spatial Frequency  $1/p$  from the peak frequency. (5) Readjust pitch  $p$ .

The computerized signal processing and procedures for adaptive pitch adjustment of reticle is shown in fig.14. The experimental results are shown in fig.15. The improvement of signal quality by adaptive adjustment of pitch is demonstrated.

## 8 FLOW VISUALIZATION TECHNIQUE

The fluid flow is generally three dimensional and the velocity distribution was measured by traversing the probe. The flow visualization technique was developed to show the flow pattern as a photocopy by use of some visible material in a flow. For example smoke is mixed in air flow, dye is mixed in water flow, then the stream line becomes visible. The visualization technique is basically a technique to observe the flow, however, this was made a progress to apply quantitative measurement. And the advance of the flow visualization technique provide to realize the flow pattern as a graphic display.

The example of the modern technique is two dimensional display of flow vector.

/15/ I.KIMURA, H.KIMURA, T.TAKAMORI; IMAGE PROCESSING OF FLOW VECTOR DISTRIBUTION; 2ND INTERNATIONAL SYMOSIUM ON FLUID-CONTROL, MEASUREMENT, MECHNICS-AND FLOW VISUALIZATION, (1988)

A tracer method using sawdust (mean diameter  $80 \mu m$ ) as tracer particles was adopted for flow visuzilzation and applied to veortices in the wake of a circular cylinder in open channel. Fig.16 shows the schematic diagram of the image processing system. The tracer images obtained by TV camera are recorded by a VTR and stored in an image frame memory. Then the image data are sent to a computer for iamge processing. Finally, velocity vectors are calculated by correlation technique and the results are shown on a image output device.

Fig 17. shows the example of results.

I have explained some of the progress of sensor and instru-

mentation and those are at the very primitive stage of intelligent sensor. Approches to the intelligent sensor are going on from the many different aspects, and real intelligent sensor will appear in future.

- /11/ J.M.Fravenec; Smart sensor in industry, J. Phys.E Instru. 20, (1987)
- /2/ S.K.Howell,T.D.S.Hamilton; Intelligent instrumentation
- /3/ R.F.Colvile; Intelligent instrumentation for process measurement, Meas. & Cont. 17,(1984)
- /4/ J.E. Brigrell; Smart Sensors, Sensors, A comprehensive Survey, Vol.1 HVC,(1989)
- /5/ H.Yamasaki; Intelligent sensor (in Japanese), SICE ,New sensing technique (1988)
- / 6/ S.Kataoka; Intelligent sensors, IMEKO TC7 Int'l Sympo. on AIMaC'91,Kyoto, Japan
- /7 / L.Finkelstein; Theoretical Basis of Intelligent and Knowledge based Instrumentation, IMEKO TC7 Int'l Sympo. on AIMaC'91 ,Kyoto,Japan
- /8/ H.Yamasaki; An approach to intelligent sensors, Proc. 4th Sensor Symposium, (1984)
- /9/ A.T. Bradshaw; Smart pressure transmitter, Meas. & Cont. 17 Oct. 1984, p.353
- /10/ B.V.Jayawant; Tactile sensing in robots, J. Phys. E, Instrm. 22, (1989)
- /11/ M.Ishikawa, M.Shimpo; An Integrated Tactile Sensor with parallel processing LSI, Proc. SICE, (1987)
- /12/ M.Kaneyasu,et al.; Smell identification using a integrated sensor and pattern recognition--Smell identification model by GMDH (groupe method of data handling)
- /13/ R.J.Santoro and H.G.Semerjan; Optical Tomography for flow field diagnostics, J. Heat and Mass transfer. 24,7. (1981)
- /14/ H.YAMASAKI, ET.AL. ; AN ADAPTIVE INTELLIGENT VELOCITY SENSING SYSTEM, TRANSDUCER '87 (1987)
- /15/ I.KIMURA,H.KIMURA, T.TAKAMORI; IMAGE PROCESSING OF FLOW VECTOR DISTRIBUTION, 2ND INTERNATIONAL SYMOSIUM ON FLUID-CONTROL, MEASUREMENT, MECHNICS-AND FLOW VISUALIZATION,(1988)



## ADVANCE IN MEASUREMENT OF FLUID FLOW AND RELATED QUANTITIES

Fluid flow is one of the important measuring quantities in science and industry. In a heavy industry works, there are many pipelines of gas, oil, water and air. Those flow rates are measured by use of flowmeters and some of them are used to control those flow rate. For the purpose of environmental control, we have to measure the waste water flow rate in open channels, or the waste gas flow rate in flare stacks.

Air flow velocity distribution in a air conditioned clean room should be measured for the purpose of dust and temperature control. The air and fuel flow rate in a combustion system should be controlled for the low fuel consumption.

Considering above mentioned example, the field in which the flow measurement techniques are applied spread itself, and amount of flow rate are extended to large or small. The sorts of fluid to be measured increase and measuring condition becomes much harder.

The techniques of fluid flow measurement were based on pure mechanical principle. For example, the differential pressure flowmeter for fluid flow rate measurement, and Pitot-static tube for fluid flow velocity measurement, are based on the hydrodynamic relation known as Bernoulli theorem. In this category, there are turbine meter, variable area meter or positive displacement flowmeter and others.

Several ten years ago, non-mechanical and non-restrictive flow meters were developed and had been supplied into industry. The one is the electromagnetic flowmeter which is known being based on the Faraday's induction law. The induced e.m.f. between two electrodes is proportional to the mean velocity of conductive fluid. This technique is applied not only in industry but in medical field to measure the blood flow measurement of living body.

The other is acoustic method and the instrument is well known as ultrasonic flowmeter and is one of the tagging method. This technique is widely used for the water flow measurement in large diameter pipe because this can be constructed with a pair of clamp-on sensors.

As the other instrumentation techniques, flow measurement has many unsolved problems. The fluid flow is basically three dimensional and for the purpose of more accurate measurement, we have to develop the multidimensional measuring methods.

To solve the problem, that is, extending the measuring range, developing the multidimensional measuring method, as the case of other measuring quantities, the usage of microcomputer in measuring system have been made a big step. I will take some

examples of the progress.

### 1) CORRELATION FLOWMETER, FLOW MEASURING TECHNIQUE USING SPATIAL FILTER.

Cross correlation method is one of the velocity measuring methods and this was confirmed in various velocity measurements. The principle of cross-correlation method is as follows. The frozen pattern model is conceptual and very simple. The basic concept is that some pattern in the flow stream travels without distortion between transducer A and B, as shown in fig.1.

This assumption of no distortion in the pattern enables the basic principles of cross correlation flow measurement to be presented in an easily understandable theoretical framework. From the basis laid down in this section, we will proceed in the next section to look at the more realistic case where there is distortion in the pattern of flow between two transducers.

The cross-correlation method of flow measurement is based on the determination of the transit time of a measurable disturbance moving along the pipe over an exactly known distance. The measurable properties, such as the variation of temperature, pressure, capacitance, electrical conductivity, or the physical parameters, are detected by a sensing element and converted into electrical signals.

Referring fig.2,  $x(0,t)$  denotes the transducer output signal derived from channel A -- the amplitude of the signal is directly related to the instantaneous value of the measured parameter of the fluid at point A. Similarly,  $y(L,t)$  is the signal related to the value of the measured parameter at point B.

If the time taken for the fluid to travel from A to B is  $\tau$ , then  $x(0,t)$  and  $y(L,t)$  can be related by the expression

$$y(L,t) = x(0, t - \tau) \quad (1)$$

The cross correlation function  $R_{xy}$  of  $x(0,t)$  and  $y(L,t)$  is given by

$$R_{xy}(L,\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} (1/T) \int_0^T x(0,t-\tau)y(L,t)dt \quad (2)$$

The maximum value of  $R_{xy}(L,\tau)$  will occur at  $\tau = \beta$ , when the correlation time is equal to the transit time  $\beta$  of the measured parameter of flow between the point A and B. Thus the velocity of flow is given by

$$u = L / \tau^* \quad (3)$$

where  $u$  is the flow velocity,  $L$  is the distance between A and B and  $\tau^*$  is the value of  $\tau$  corresponding to the peak value of  $R_{xy}(L,\tau)$ .

If the velocity profile across the pipe diameter is uniform, then the volumetric flow rate can be obtained multiplying  $u$ , which is determined from eq. (3), by the cross sectional area of the pipe.

The same results can be obtained if the first signal  $x(t)$  is regarded as an input signal and the second signal  $y(t)$  as an output signal of a linear system with an impulse response  $h(t)$ . Then both autocorrelation and cross-correlation functions are related by the well known convolution integral

$$R_{xy}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} R_{xx}(\tau - t) h(t) dt \quad (4)$$

If a frozen pattern moving with velocity  $u$  is now assumed, both sensor signals are identical apart from the transit time, and the impulse response is simply a delayed impulse

$$h(t) = \delta(t - \tau^*) \quad (5)$$

Inserting eq (5) into (4), we obtain

$$R_{xy}(\tau) = R_{xx}(\tau - \tau^*) \quad (6)$$

That is the cross correlation function equals the autocorrelation function shifted by  $\tau^*$ , with the maximum at  $\tau = \tau^*$ . The transit time can be determined from the maximum of the cross correlation function (fig.2).

For most flows the pattern is set up by the turbulence process, which is basically due to the random movement of molecule of carrier fluid, generated by a combination of frictional and impact factors. Since turbulence is a random process, the pattern created by turbulence that will exist at the transducer A will necessarily change as it moves down the flow stream because of the random effects, hence the signals at transducers A and B will be different.

The difference in the measured signal between transducers A and B that results from the continuous random process of turbulence generation can be represented by the addition of a noise signal  $n(t)$  at the downstream location as fig.3. The impulse response  $h(t)$  in this figure represent the part of flow pattern that is transmitted between A and B and the noise signal  $n(t)$  represents the regenerated turbulence, uncorrelated with the turbulence at transducer A, to break up of the turbulence pattern between transducers A and B.

The example of this flow measuring method are given in fig4.

One of the non-contact velocity sensing methods in scientific and industry is optical velocity sensing system utilizing spatial filter. This is lately developed and reported many applications, known as the spatial filter method. The simple explanation of this method is using a parallel slit spatial filter to measure the velocity of a single point light source.

A moving object having a two dimensional optical pattern  $f(x,y)$  is projected through a optical parallel slit reticle  $g(x,y)$ , and projected light is focused on a photosensor is described as  $e(t)$  in eq.(7)

$$e(t) = \iint f(x-ut, y-vt) g(x,y) dx dy \quad (7)$$

where  $u, v$  are object's velocity in  $x, y$  direction respectively. Multiplication and spatial integration in eq.(7) are performed optically.

If the object moves in  $x$  direction only, the output  $e(t)$  fluctuate periodically and the relative velocity between the object and the reticle can be measured from dominant frequency as given in eq.(8).

$$f = M*u / p \quad (8)$$

where  $M$  is magnification of optical system,  $u$  is relative velocity and  $p$  is pitch of parallel slit reticle.

This is a simple explanation of velocity measuring method by use of spatial filter. In the case of fluid flow, the spatial filter is made by a optical system or acoustic system, and the example of result is given in fig.5.

/3/ A. KOBAYASHI ;APPLICATION OF SPATIAL FILTER 1, JOUR. SICE, 19, 6,(1980)

/4/ Y. KURITA ;FLOWMETER BY USE OF SPATIAL FILTER, PROC. 17TH SICE, (1978)

## 2 ) FLOW VISUALIZATION TECHNIQUE

The fluid flow is generally three dimensional and the velocity distribution was measured by traversing the probe. The flow visualization technique was developed to show the flow pattern as a photocopy by use of some visible material in a flow. For example smoke is mixed in air flow, dye is mixed in water flow, then the stream line becomes visible. The visualization technique is basically a technique to observe the flow, however, this was made a progress to apply quantitative measurement. And the advance of the flow visualization technique provide to realize the flow pattern as a graphic display.

/5/ W.J.YANG; HANDBOOK OF FLOW VISUALIZATION, HEMISPHERE PUB. CORP., (1989)

The example of the modern technique is two dimensional display of flow vector.

/6/ I.KIMURA, H.KIMURA, T.TAKAMORI; IMAGE PROCESSING OF FLOW VECTOR DISTRIBUTION, 2ND INTERNATIONAL SYMOSIUM ON FLUID-CONTROL, MEASUREMENT, MECHNICS-AND FLOW VISUALIZATION, (1988)

A tracer method using sawdust (mean diameter 80  $\mu\text{m}$ ) as tracer particles was adopted for flow visuzilzation and applied to veortices in the wake of a circular cylinder in open channel. Fig.6 shows the schematic diagram of the image processing system. The tracer images obtained by TV camera are recorded by a VTR and stored in an image frame memory. Then the image data are sent to a computer for image processing. Finally, velocity vectors are calculated by correlation technique and the results are shown on a image output device.

Fig7. shows the example of results.

### 3)LDV AND PIV

/7/ J.Wiedemann; Laser Doppler Anemometrie, Springer-verlag, (1984)

Among the application of laser, the laser Doppler velocimeter is very widely used for measurement of velocity, fluid flow, vibration etc.. LDV can measure the velocity of a partical in fluid flow with the Doppler shift frequency of the scattered light. This method is a measuring method of velocity of a point.

Fig. 8 shows the one of the optical arrangements of LDV system. The laser beam is devided into two by a beam splitter and mirror, and those are focused in fluid flow. The photomultiplier PD detects the mixture of original light and scatterd light. Then the output signal frequency of PD is given by

$$f_D = (2n/\lambda_0)W_p \sin(\theta_B/2) \quad (9)$$

where  $n$  is refractive index of fluid,  $\lambda_0$  is wave length in vacuum; and  $W_p$  is velocity of the particle.

On the otherhand, many flow visualization techniques were developed to observe the flow pattern and some of them were used as a quantatiave measurement.

The fluid flow is basically two or three dimensinal and when

we use a point velocity measuring technique such as LDV, a traversing or scanning equipments are required. Those measurement are time consuming and difficult for simultaneous measurement.

One of the method to measure the flow pattern is known as PIV (Particle Imaging Velocimetry). This technique had been developed through the application of Laser Speckle Photography (LPS) to fluid flow situation. A double pulsed light source is used to illuminate a plane within a seeded flow which is photographic to produce transparency as shown fig.9 .

The negative image is contact copied to improve signal-to-noise ratio and the resulting positive transparency is point wise analysed with a narrow beam of coherent light using a optical geometry as shown in fig.10 . Since the illuminated region of the transparency contains correlated pairs of particle image, Young's fringes are formed in focal plane of a converging lens. By measuring the wavelength and orientation to find the local velocity at each point on the transparency, 2-D velocity map can be constructed.

An example of results of this method is shown in fig.11

Large quantity of data produced by the above mentioned analysis procedure would be time consuming to manually and therefore several methods of automatic data reduction have been proposed.

/8/ A.KIRITA; PARTICLE IMAGE VELOCIMETRY; A NEW APPROACH TO IMAGE ANALYSIS, OPTICS AND LASER IN ENGINEERING, 7 (1986/87)

#### 4) CT IMAGING

/9/ R.J.Santoro and H.G.Semerjan; Optical Tomography for flow field diagnostics, J. Heat and Mass transfer, 24,7. (1981)

The TC technique was developed mainly in the field of medical engineering and made a large step in medical diagnostics. This technique has been applied in industry and also was made much progress, such as flow measurement, flow visualization. In this technique, roles of the computer is main part and this is an instrument with computer system. The measurement by use of this technique may be called intelligent instrumentation.

I give an example of this technique in industry which was very first example. Flow fields typically encountered in combustion and the high temperature reacting flow are spatially and temporally variant and quite complex. The optical tomography which extends the application of absorption diagnostics to non-uniform flow.

Optical tomography has been applied to an off-axis turbulent

methane-air free jet to determine methane concentration throughout the mixing region. Optical tomography is a multi-angular absorption technique which involves making M line of sight absorption measurements (projections) at N angle. Those M\*N measurements are then used to reconstruct the original two-dimensional flow field. Absorption measurements were made on methane using the near resonance 3.39  $\mu$ m line of a He-Ne laser. Mean concentration measurements were obtained at three positions downstream of the jet exit plane. Comparison profile shows good agreement. Additionally, the sensitivity of the reconstructed results of the number of the angles and scans used is briefly described. The results demonstrated the unique capability of optical tomography for flow field diagnostics.

The multiangular absorption technique involves the measurement of absorption along M equally spaced parallel beam at N equally spaced angles, forming an M\*N data set from which it is possible to retrieve or reconstruct the original property of field. The absorption along each individual beam is governed by the Bouguer-Lambert-Beer law which can be expressed as

$$I_{\nu}/I_{\nu 0} = \exp \left( - \sum N_{\nu i} Q_{\nu i} ds \right) \quad (10)$$

where  $I_{\nu}/I_{\nu 0}$  is the ratio of the transmitted to initial intensity at frequency  $\nu$ ,  $N_{\nu i}$  is the concentration of species  $i$  which absorbs at frequency  $\nu$ ,  $Q_{\nu i}$  is the absorption cross section for  $N_{\nu i}$  at frequency  $\nu$ , and  $s$  is the path length. This equation may be rewritten as (see fig.10)

$$- \ln \frac{I_{\nu}(r, \theta)}{I_{\nu 0}} = P(r, \theta) = \int_{-\infty}^{\infty} F(x, y) ds \quad (11)$$

where  $r = x \cos \theta + y \sin \theta$ ,  $s = -x \sin \theta + y \cos \theta$ .

$P(r, \theta)$  is defined as the projection for the angle  $\theta$ . Since the ratio  $I_{\nu}/I_{\nu 0}$  can be measured experimentally,  $P(r, \theta)$  is known and the solution of eq. (10) for  $F(x, y)$  will yield the desired property field  $(N_{\nu i}, Q_{\nu i})$ . Thus the multiangular scanning technique is based on the reconstruction of a property field  $F(x, y)$  from a set of its projection  $P(r, \theta)$ . This is the basis of computed tomography and many algorithms were proposed.

The one of the solution procedure utilizes the convolution technique was developed by Ramachandan and Lakshminarayanan. The result is given by

$$F(x, y) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} d\theta \int_{-\infty}^{\infty} P(\tau, \theta) \phi(x \cos \theta + y \sin \theta - \tau) d\tau \quad (12)$$

where  $\phi(r)$  may be interpreted as a weighting function of the distance from the point  $(x,y)$ , where the property  $F(x,y)$  is to be evaluated, to  $r$  where a value of the projection  $P(r,\theta)$  is evaluated. The choice of the function  $\phi(r)$  greatly affects the computational requirements as well as the accuracy of the results.

$\phi(r)$  can be considered a filter function and its selection must be dependent on the noise of the instrumentation system as well as the bandlimit of the function.

Since  $P(r,\theta)$  is known only in the sampled domain, the integrals in eq.(12) must be replaced by their discrete summations. Thus,

$$F(x,y) = \frac{1}{2N} \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^M P(r_k, \theta_j) (x \cos \theta_j + y \sin \theta_j - r_k) \quad (13)$$

where  $a$  is spacing between uniform samples and

$$\theta_j = (j-1)\pi/N, \quad r_k = k a$$

Fig.12 shows the principle of optical tomography. The projection data were analyzed and a reconstruction of the concentration profile at each axial position was obtained. The reconstruction results is shown in fig. 13

## 5) CAPACITIVE ELECTROMAGNETIC FLOWMETER

The electromagnetic flowmeter was developed several ten years ago, and its capability has been highly evaluated. Fig.14 shows the one of the progress in the sensing method in electromagnetic flowmeter. This has no electrodes, and the capacitive sensing method is adopted. By use of this method, the instability of the e.m.f. due to the electrode contamination was overcome. Moreover, this system has functions that it has a communication system between sensor and panel, and by use of this system, we can make remote setting of the flow range, unit of measurement and damping time constant. This function was achieved by a micro-processor.

/10/M.FUKUNAGA, et.al.; CAPACITANCE ELECTROMAGNETIC FLOWMETER, HITACHI INSTRU. JOURNAL, 12, 2, (1990)



## 6) ONE-CHIP SENSOR

/11/ Tanaka et.al. ; Micro-chip flow sensors for measurement of flow velocity and direction, Transducer '87,

Very small size air flow sensor which is fabricated with Pt film resistor on one glass substrate was developed. The basic concept of this flow sensor is heat convection from a hot body by air flow. The principle of this method was established and the point to emphasize is that the small sensor was fabricated by the micr-mechanical technique.

Fig.15 shows the structure of this sensor. Three Pt film resistors ( one micro-heater, one temperature monitor sensor and temperature sensor) are fabricated on a glass chip. It has 10 mm \* 1.6 mm in size. The feedback circuit keeps the temperature difference  $\Delta T$  between the heater temperature monitor and the temperature sensor at a constant value against the flow velocity change. Fig.16 shows the experimental result of the relation between the heater power and square root of the air velocity.

The authors of this report made a flow direction sensor as an extention this sensor. It has four temperature sensors and can detect the air flow direction.

One of the typical examples of smart sensor is a differential pressure sensor.

/12/ A.T. Bradshaw; Smart pressure transmitter, Meas. & Cont. 17 Oct. 1984, p.353

This is based on silicon ion implant technology and combines advanced in silicon technology with the use of a perfectly electric drift free materials to provide an accurate stable sensing element. Total transmitter drift is specified as  $\pm 0.06$  % upper rang limit /year.

This sensor senses three variables, Fig.17 shows the front face of the sensor with the following sensing elements pointed out. The differential pressure across the silicon tip is sensed by a Wheatstone bridge arrangement of four piezo-resistive elements, two of which increase in value with applied pressure and two which decrease. With a constant voltage across the bridge this gives a quadrupling effect on the electrical change and hence a high millivolt output.

The static pressure is also sensed by a Wheatstone bridge network of resistance. That is situated on the section of silicon in close proximity to the bond od supporting tube of glass. The different coefficients of compression of silicon and glass results in a piezo resistive measurement of applied pressure. Temperature is also sensed by a single resistance element.

Fig.18 shows the logic diagram of the sensor. SPM (signal pulse modulator) converts the analogue signals from the sensor into a pulse modulated digital signal. The gain of the SPM is automatically changed to provide the very high input resolution requirement. The compensation data which is got at the manufacturing period, are stored in the ROM of each device.

Most of these measuring methods are at the very primitive stage or developing stage. However, they contain very interesting idea or research results and practical sensors or instruments will be completed in future.

- /1/ MS BECK, A PLASKOWSKI; CROSS CORRELATION FLOWMETERS, THEIR DESIGN AND APPLICATION, ADAM HIGER (1986)
- /2/ K.KOMIYA, et.al.; ON THE CROSS-CORRELATION FLOWMETER FOR GAS FLOW MEASUREMENT, FLUCOME TOKYO'85 (1985)
- /3/ A. KOBAYASHI ;APPLICATION OF SPATIAL FILTER 1, JOUR. SICE, 19, 6,(1980)
- /4/ Y. KURITA ;FLOWMETER BY USE OF SPATIAL FILTER, PROC. 17TH SICE, (1978)
- /5/ W.J.YANG; HANDBOOK OF FLOW VISUALIZATION, HEMISPHERE PUB. CORP.,(1989)
- /6/ I.KIMURA,H.KIMURA, T.TAKAMORI; IMAGE PROCESSING OF FLOW VECTOR DISTRIBUTION, 2ND INTERNATIONAL SYMOSIUM ON FLUID-CONTROL, MEASUREMENT, MECHNICS-AND FLOW VISUALIZATION,(1988)
- /7/ J.Wiedemann; Laser Doppler Anemometrie, Springer-verlag,(1984)
- /8/ A.KIRITA; PARTICLE IMAGE VELOCIMETRY;A NEW APPROACH TO IMAGE ANALYSIS, OPTICS AND LASER IN ENGINEERING, 7 (1986/87)
- /9/ R.J.Santoro and H.G.Semerjan; Optical Tomography for flow field diagnostics, J. Heat and Mass transfer. 24,7. (1981)
- /10/M.FUKUNAGA,et.al.;CAPACITANCE ELECTROMAGNETIC FLOWMETER, HITACHI INSTRU. JOURNAL, 12, 2,(1990)
- /11/ Tanaka et.al. ; Micro-chip flow sensors for measurement of flow velocity and direction, Transducer '87,
- /12/ A.T. Bradshaw; Smart pressure transmitter, Meas. & Cont. 17 Oct. 1984, p.353