特輯 한국정밀공학회지 제14권 제1호 (1997년 1월)
Journal of the Korean Society of Precision Engineering Vol. 14. No.1. JANUARY. 1997.

일본 국제 공작기계 전시회 (JIMTOF)를 다녀와서

강 철 희*

Observation Report on the 18th JIMTOF

C. H. Kahng*

1. 서 론

21세기의 비지니스 거점으로 동경시에서 신바시(新橋) 남쪽에 거대한 매립지를 만들어 임해(臨海)지역 아리아게(有明)가 형성된 것이 수년전이다. 그 중 "TOKYO BIG SIGHT"가 중요 핵시설의 하나이며 크기와 설비가 일본 최대 규모의 전시장으로서 최초로 제18회 일본 국제 공작기계 견본시(18th Japan International Machine Tool Fair, JIMTOF)가 지난 11월12일부터 8일간 여기서 개최되었다. Fig.1은 그 Show의 Official symbol이며 각종 인쇄물과 Poster에서 볼 수 있었다. 이 TOKYO BIG SIGHT는 전에 국제적 대전시장의 역사를 창조해 온 Harumi Tokyo의 명성의 이어받을 시설로서 완성되었다. 미국의 IMTS(Chicago Show), 구라파의 EMO와 더불어 세계의 3대 공작기계 Show의 하나인 JIMTOF는 Tokyo와 Osaka를 번갈아 가면서 개최하기 때문에 4년만에 개최되는 Tokyo의 JIMTOF는 21세기를 내다보는 제조기술이 어떻게 발달할 것인가를 관찰하는데 좋은 장소였다. 일본 국내의 경기도 금년에는 회복이 기대되며 특히 공작기계의 발주가 오랫만에 호조를 보이고 있어 이 견본시를 계기로 내외의 User에게 본격적인 설비투자 의욕을 촉진시키기 위하여 PR경쟁을 전개하고 있었다. 지금까지의 Harumi(晴海)에 비하여 약 1.5배의 수용능력을 가지고 있고 동경 임해부도심(臨海副都心)에 자리잡고 있다는 것이 큰 관심을 끌어 예상밖의 선전효과를 얻은 것 같다. 출품 품목은 국내및 해외에서 제조된 공작기계와 그것에 관련된 기기로서 주최 단체인 일본 공작기계공업회의 회원 기업이 88사 (2,265 Booth)를 점령하고 있었으며 협찬 13사, 단체 278사(1907 Booth), 해외 직접출품사가 43사(188 Booth), 국내 일반출품사 140사(524 Booth), 국제 Information Cen-

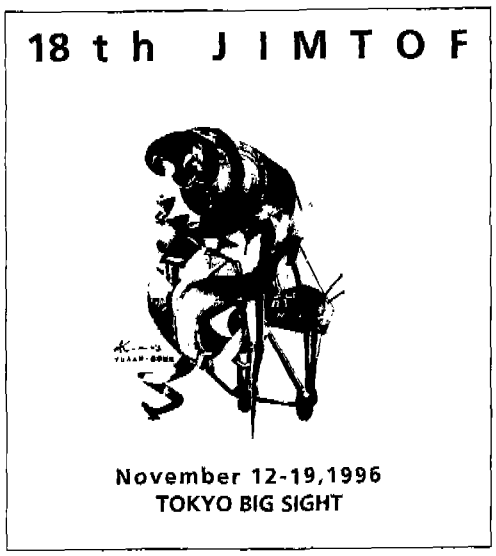

Fig. 1 The Simbole of 18th JIMTOF

* 統一重工業(株) 전 무

Hall & Display Item

Name of Hall	Main Exhibition
East Hall 1	Machine Tools
East Hall 2	Machine Tools
East Hall 3	Machine Tools
East Hall 4	Grinding wheels and Abrasives Diamond Tools/Machine Tools Carbide Tools/Special Steel Tools
East Hall 5	Machine tool accessories Exhibitors from Abroad
East Hall 6	General Exhibitors/Exhibitors from Abroad
West Hall 1	Machine Tools
West Hall 2	Metal Forming Machines
West Hall 3	Gears and Gear Systems Hydraulic Machines and Pneumatic machines Machine Tools
West Hall 4	Small Machine Tools Precision Measuring Instruments Testing Instruments Optical Measuring Instruments
Atrium	Publication/Poster Session International Information Center

Fig. 2 Halls and display items

ter가 15개(34 Booth)를 점하고 있었으며 총 562사가 4,918 Booth에 출품하고 있었다. 전시장의 총면적이 80,660㎡, 동(東)전시장 6Hall에 51,380㎡ 서(西)전시장에 4Hall에 29,280㎡이고 Atrium이 상당한 면적을 차지하고 있었으며 Tokyo Big Sight를 Open하여 처음으로 전관을 사용하는 최대의 전시회였다. Fig.2에서 보는 바와 같이 각 Hall에는 해당하는 주전시품이 진열되어 있었으며 공작기계는 East 1, 2, 3과 West 1, 4에서 주로 볼 수 있었고 그 외 Hall은 여러 종류의 공작기계 관련 기기를 전시하고 있었다. 참가국은 24개국과 Taiwan이며 한국에서는 6개 회사가 전시하고 있었다. 금번의 견본시는 전회(1994)로부터 2년간에 걸친 각사의 신기술 신제품의 기술개발 노력이 결과를 보여주어 있었다. 머시닝 센터의 출품수가 크게 증가했고 특히 Horizontal Machining Center는 전번보다 2배이상 출품되고 있었으며 고속주축, 고속 이송장치, Linear motor채용, 1㎛의 정밀도, 2면구속의 Tooling, PC-NC, FMS, FMC에 대응하는 공작기계 등 다채로운 신기술을 여러 Booth에서 전시하고 있었다. JIMTOF와 동시에 개최하는 제7회 국제 공작기계 기술자회의 (The 7th International Machine Tool Engineers Conference-IMEC)가 세계 각국에서 모인 전문가 200명이 참가하여 새로운 공작기계(경쟁력이 있는 생산기술을 향해)에 관하여 강연을 듣고 진지하게 토론을 하였다. 처음으로 시도한 공작기계의 New Technology에 관한 Poster 전시를 통해 일본의 공작기계 관련 연구자에 의한 연구내용을 소개한 것을 관찰할 수 있었다. 외국인을 위한 Post Conference Tour는 Yokohama에 있는 Hitachi Ltd, Production Engineering Research Laboratory를 방문하게 되었다.

2. 일본의 공작기계 산업

공작기계의 생산, 수출 그리고 기술면에 있어서 세계제일인 일본의 공작기계 산업은 매우 미약한 수준에서 시작하여 1960년말부터 발전하기 시작하였다. 1976년은 공작기계의 수입에서 수출로 바뀌는 전환기가 된 중요한 해이다. 그 후 계속 고도성장을 거듭하다 1980년에 돌입하면서 경쟁국인 미국과 독일을 능가하여 세계 제1의 공작기계 생산국이 되었다. 수출도 역시 세계 제일인 독일을 앞지르게 되었다. 이 성공의 원인은 공작기계 뿐만 아니라 자동차, 전자제품등 모든 생산품 경쟁에 있어서 일본이 세계를 리드한 실력이 있었기 때문이다. 1991년에 약 940억$의 공작기계를 생산한 것이 Peak이었으며 세계 경제침체로 하강선을 긋다가 1993년에는 530억$로 내려갔지만 1995년에 다시 상승하여 754억$로 세계 생산의 29.0%를 점유하게 되었다. 일본의 NC화 역시 세계 제일이며 전 공작기계의 90%가 NC 공작기계이다. Fig.3은 1973년부터 1995년까지의 생산수요, 수출과 수입을 비교한 것이다. 생산은 크게 증가하지만 주기적 증폭을 되풀이 하면서 증가하고 수출도 역시 같은 현상을 반복하면서 증가하지만 수입은 극소액을 유지하면서 수평적인 것을 알 수 있다. Fig.4는 공작기계의 기종별로

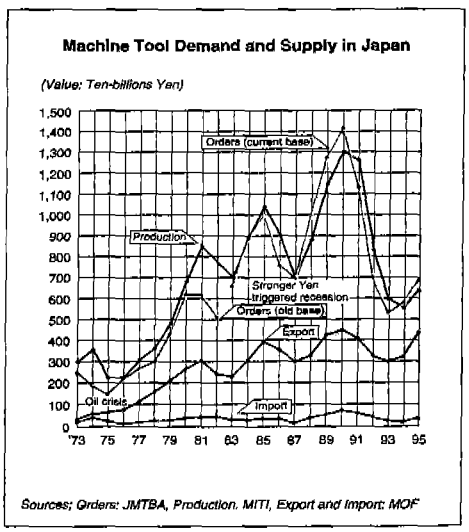

Fig. 3 Machine Tool Demand and Supply in Japan(1973-1995)

Machine Tool Production by Type of Machine

(Value in Millions of Yen)

Year / Type of Machine	1993 Units	1993 Value	1994 Units	1994 Value	[illegible] Units	[illegible] Value	[illegible] %	[illegible] %
Turning Machines	12,343 (10,191)	136,913 (125,256)	14,961 (12,851)	145,010 (134,590)	20,339 (18,309)	194,466 (182,883)	134.1 (135.9)	27.8 (26.1)
Drilling Machines	14,138 (1,158)	13,101 (9,646)	11,504 (1,563)	12,333 (9,965)	14,402 (2,400)	17 017 (14,533)	136.0 (145.9)	2.4 (2.1)
Boring Machines	360 (244)	15,527 (14,158)	332 (229)	10,649 (10,073)	276 (226)	9,961 (9,519)	93.7 (94.5)	1.4 (1.4)
Milling Machines	2,007 (1,019)	17,224 (11,987)	1,791 (974)	14,741 (10,951)	1,832 (1,094)	14,735 (11,067)	100.0 (101.2)	2.1 (1.6)
Grinding Machines	4,904 (1,301)	71,857 (34,441)	4,767 (1,511)	67,999 (36,636)	6,083 (2,069)	74,694 (40,829)	109.8 (111.7)	10.7 (5.8)
Gear Cutting & Finishing Machines	592 (309)	13,795 (7,516)	643 (317)	12,571 (7,450)	660 (420)	13,759 (9,586)	109.5 (128.6)	2.0 (1.4)
Special Purpose Machines	3,628 (1,502)	101,079 (58 023)	3,273 (1,194)	78,637 (40,997)	4,352 (1,875)	88,421 (50,774)	113.7 (123.8)	12.8 (7.3)
Machining Centers	8,420 (5,420)	142,183 (142,183)	8,461 (6,461)	129,222 (129,222)	9,665 (9,665)	181,154 (181 154)	140 2 (140 2)	25.9 (25 9)
Electrical Discharge Machines	2,627 (2,559)	35,364 (34,078)	2,878 (2,797)	36,732 (35,306)	3,979 (3,875)	49,602 (47,696)	135 0 (135 1)	7.1 (6.8)
Other Machine Tools	41,905 (1,097)	45,580 (22,287)	41,401 (1,288)	46,182 (23,498)	38,575 (1,572)	54,511 (27,526)	118.0 (117.1)	7.8 (3.9)
Total	86,930 (25,890)	592 727 (458,358)	86,109 (29,014)	554,080 (438,511)	100,293 (41,835)	696,351 (575,684)	126 2 (131.2)	100 0 (82.3)

Source JMTBA
( ) NC Machine Tools

Fig. 4 Machine Tool production by Type of Machine

1993, 1994, 1995년의 공작기계 생산대수와 가격을 비교하였다. 제1위는 선반으로서 27.8%이고 다음에는 MC이며 25.9%이다. 특수기계 12.8%, 연삭기가 10.7%의 순으로 생산 실적을 올렸다. 평균가격을 보면, NC선반은 998만¥, MC는 1874만¥, 연삭기는 1225만¥이다. 수출에 있어서의 제1위는 27.1%인 Turning machine이며 다음에는 MC(24.3%), 물리적, 화학적 공작기계(17.3%)이다. 해외에 공작기계 제조업종을 가지고 있는 일본 공작기계 회사가 미국에 13사, 영국 2사, 독일 4사, 한국 2사, 중국 4사, Taiwan에 2사, Singapole에4사, 태국에 2사, India와 Brasil에 1사를 가지고 있다. 이 통계를 보면 일본 공작기계는 전 세계에서 생산을 하고 있으며 또 그 곳에서 판매되고 있지만 핵심기술은 일본에 있는 본사에서 장악하고 있다. 꾸준한 연구활동으로 기술면에서도 세계를 리드하고 있는 것이 확실하다. 참고로 1994년 JIMTOF의 일본 공작기계 기술의 동향을 정리한 것을 요약한 것을 보면 다음과 같다.

전반적인 경향

고속화와 저가격화가 주된 목표였다. 고속화 기술은 빠른 주축회전, 빠른 이송, 짧은 ATC시간은 물론 Spindle의 가속시간, 절삭 이송시간, Work의 교환속도 등에도 주목하게 되었다. 비절삭시간단축, 공정집약, Space 효율화의 경향도 강하게 나타났다.

MC

(1) 최고속도 40,000min^{-1}은 Al재뿐만 아니라 Steel, 난삭재에도 적용할 수 있게 초고속 가공이 실용화 되는 단계에 도달하였다.

(2) 최소설정단위 0.1㎛를 가능하게 하는 초정밀 MC 연삭기능과 Turning기능을 보유하는 MC, Milling과 Planner의 복합 MC, 동시 5축 제어기능, FTL구성용 Columm 이동형 MC가 출현하였다.

(3) 고압 Coolant, Oil shower의 채용이 많아졌다. 고속, 고강성 대응의 Short taper의 2면고속 Tooling shank가 출현하였다.

선반

(1) Turning center 또는 복합 가공기라고 부르는 Y축, C축 제어 사양이 추가된 Lathe가 출현하였고 그 외에도 회전공구에 의해서 Drilling, Milling등을 할 수 있는 것과 Spindle로 Work의 앞과 뒤의 동시 가공이 가능한 복합가공, 공정집약 등으로 더욱 자동화와 무인화로 바뀌고 있다.

(2) 고압 Coolant 절삭에 의한 고강도 재료와 난삭재의 가공에 대응하는 기종도 다수 출현하였다.

(3) Built-in Robot이나 Gantry Robot을 적절히 도입한 일체형 선반이 출현하였다.

연삭기

숫돌의 주속도가 200m/s의 Cylindrical grinding machine, Table에 hydroustatic guide를 사용한 Creep feed 연삭기, 초정밀 비구면 연삭기가 다수 출현하였다.

요약

(1) Cost down을 주로하는 저가격 공작기계, 제품의 Compact화, Space 효율화, 공통부품 공용화, 기능을 Up하는 경향

(2) 공정집약, 비절삭시간의 단축등 생산성 향상을 위한 추세

(3) Linear motor와 PC-CNC가 나오고 있다.

3. 공작기계의 신기술

1) 일반경향

회원 86사에서 488대의 공작기계가 전시되었으며 전번에 비해 50대 가량의 증가를 보였다. 출품기종 가운데 수평형 머시닝 센터의 대수는 전회(1994, Osaka)에 비

하여 약 2배 가량 출품되었다. 약 90%가 NC 공작기계이지만 반면 수동 조작을 하는 범용기를 개량한 기계도 보였다. NC기에 있어서도 필요로 하는 최소한의 기능으로 한정시키고 작업자의 조직을 유효하게 활용하고 기계와 사람과의 조화를 강조한 방향으로 나아가고 있었다. 또 NC 선반에 머시닝센터 기능을 부가시키거나 반대로 머시닝센터에 선삭기능을 부가시키고 Facing Center나 Milling Center등의 복합기, 초고속, 초정밀 절삭기등도 전시되어 있었으며 종래의 기계 분류방법으로 구분하기 어려운 기종도 증가하고 있었다. 2년전 17회 JIMTOF에서 화제가 되었던 PC-CNC, Linear motor를 이용하는 이송기구, 2면구속 Tooling등은 2년동안에 매우 큰 발전이 이루어져 시용단계로부터 실용단계에 돌입한 것을 알 수 있었다.

2) Open NC, PC-CNC

필자가 설명한바 있는 CNC 장치에 관해서[1] 15사 이상이 선반 머시닝센터, Tapping 센터, Grinding machine, 초고속 가공기 등에 PC-CNC를 부착시켜 전시하였다. 작년 9월에 6개사가 발족시킨 Open System Environment for Controller(OSE)연구회에서 Open Architechture Version 1.0을 발표한 후 새로 참가한 회사 때문에 현재는 18사로 확대되어 금년 8월에는 Version 2.0을 발표하게 되었다. 그 외 Maker들도 Computer maker와 협력하면서 독자적인 방향으로 나아가고 있으며 그 결과를 전시하고 있었다.

OSEC의 설립목적은 다음과 같다. 산업기계의 제어기기에 개방형 Architecture을 도입함으로서 PC의 Network을 중심으로 하는 정보처리기술과 고성능 범용 Processor기술을 구사한 고부가가치의 기능을 능률있게 조합시켜 산업기계의 발전성을 확보하는 것을 목표를 하고 있다. 그 규약의 입안과 설정및 Defect 표준활동을 위한 Consosium을 조직함에 있다. 그 기본방침은,

◦ 기존의 기술을 Base로 하여 최신의 기술을 이용하는 진화적(Evolutional)한 Approach를 한다.

◦Object 지향하는 Architecture로 한다.

Multi-platform에 대응할 수 있는 Architecture를 목표로 한다.

◦ 기술혁신이 가능한 PC의 Hardware, Software 기술과 제품을 유효하게 이용한다.

◦ Field network상에서 제어부품에 대응할 수 있는 것을 목표로 한다.

◦ CAD/CAM을 포함하는 Engineering환경과의 접합을 유도하여 업무의 수직적 합리화를 지원한다.

◦ CALS등의 생산용 기능을 지원하게 한다.

3) Linear motor의 이송기구

이미 필자가 소개한 바 있었으나[2] Linear motor의 이송기구를 부착한 공작기계는 전번에는 출품하지 않았고 단지 Motor maker가 이송기구를 Demo하는 정도였으나 이번에는 머시닝센터, Laser 가공기, 연삭반 등에 부착하여 120m/min의 획기적인 이송속도와 가속도를 실현시켰다. 특히, Kyoto 대학의 Kakino 교수를 중심으로 공작기계와 전기 Maker 9사에 의한 공동연구의 성과가 Mori-seiki의 Booth에서 전시되었으며 이것이 산 관 학 연구의 결과라는 것을 보여주고 있었다.

4) 2면 구속 Tooling

이미 필자가 자세히 설명한 바 있었으나[3] 1/10 Taper의 2면구속 Tooling이 뜨거운 화제가 되어 있었다. 독일의 HSK Tooling, 미국의 Kennametal사의 KM Tooling이외에 일본 일연 공작소의 NC 5 Tooling이 출현하여 공작기계 Maker와 User들이 그 우수성을 판단할 것으로 기대된다. HSK는 ISO규격으로 제안되었으며 국내외에서 활발한 논의가 전개되고 있지만 앞으로 어느 정도의 공작기계에 채용될지 주목되고 있다.

5) Parallel Link 기계

이미 필자가 이 개념에 대하여 설명한바 있지만[4] 금번 전시회에 Hitachi와 Toyoda가 Parallel Link 구조의 공작기계, 즉 Rapid Prototyping으로 부르는 새로운 금형 조형기술이 등장하였다.(Fig.5) 금형가공분야에서는 고속가공에 의한 고능률화가 기대된다. 고속가공을 실현

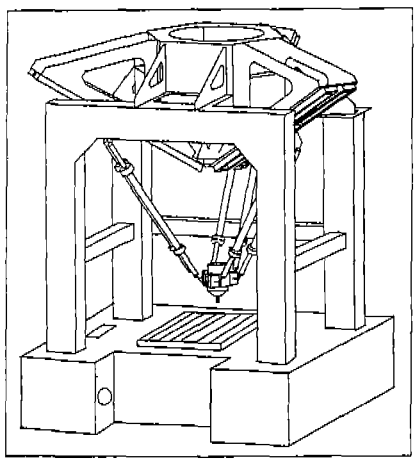

Fig. 5 Parallel mechanism based Milling machine

시킬 수 있는 기술로서는 고속회전주축, 고속이송기구, 고가속도 이송기구 등의 이용을 생각할 수 있으나 종래의 머시닝센터에 있어서는 가동부의 질량이 크기 때문에 고속화에 대응하는 것이 기구상 곤란하였다. 한편 1960년대에 Steward에 의해서 소개된 Parallel 기구는 Simple한 구조이면서도 이 동체의 Compact화가 가능하므로 고속, 고가속도 이송이 적합하고 고강성, 고정도 기구로 평가받고 있다. Toyoda Koki 회사는 1990년 동북대학 Uchiyama 교수들과 고속운반, 조립작업을 목적으로 하는 Parallel-Link-Robot HEXAM을 공동개발한 바 있으며 금번에 절삭가공에 적응 가능한 강성을 가지고 있는 Parallel-Link기구를 개발하여 전시하였다. Parallel mechanism은 6개의 Leg를 신축시킴으로서 수축을 원하는 어떠한 위치나 방향으로 자유자재(自由自在)로 이동시킬 수 있는 혁신적인 구조의 기계이며 2, 3년전부터 미국의 Ingersoll사, Giddings Lewis사, Swiss의 Geodetics사가 발표한 화제의 기구였다. 일본에서도 Robot 등에 응용개발이 진행되어 있었으나 절삭형 기계로는 제1호기로서 전시되었다. 주축 속도 100,000RPM, 최대이송속도 100m/min을 가능하게 하였으며 공구선단위치의 가동범위는 400×400×350(㎜), 경사각도 ±30°, 최대가속도 9.8m/sec², 위치결정정밀도 ±4㎛이다.

이 기계의 특징으로는,

- 절삭가공기의 개념을 근본적으로 바꾸는 Parallel-link형 절삭가공기이며
- 복수의 Link를 독립적으로 구동하여 위치와 자세의 제어가 가능하고
- 이동체 질량을 극히 적게할 수 있으므로 고속, 고가속도 이동을 실현시킬 수 있으며
- Guestmerize할 수 있는 자유스러운 PC와 독자적인 고속 Algorithm이 가능하고
- Window base HMI의 채용으로 조작성이 우수하다.

3차원 CAD Data로부터 직접형을 제조할 수 있는 Rapid tapping기술이 주목을 받았고 광조형(光造形)과 Sheet 적층법(積層法)등의 기술이 소개되고 있으나 이번에 출품된 것은 절삭적층조형법(切削積層造形法)으로 복잡한 형상의 금형제작을 가능하게 하고 있다.

6) 초고속, 초정밀 공작기계

더 빨리 더 좋은 정밀도의 고객요구에 따라서 공작기계의 고속화, 고정밀화는 점점 발전을 하고 있다. 주축 회전 10,000RPM 이상의 기계는 이제 보통이 되어 버렸고 머시닝센터의 합계 출품대수의 60%가 이 류에 속한다. Option이기는 하지만 70,000RPM, 이송속도 60m/min의 수직형머시닝센터도 등장하고 있다. 이송속도는 Linear motor가 아닌 방식으로 40m/min, 60m/min의 기계도 보였으며 가속도 1G의 기계도 출현하였다. 연삭기의 Wheel 주속도가 100m/s의 Centerless Grinding Machine, 200m/s의 Cam Grinding Machine도 나와 있었다. 지금까지는 경금속 재료의 초정밀 경면 가공용으로 사용되던 공기 정압 주축을 구비하여 60,000RPM의 고속으로 철계재료를 고정도로 가공하는 초고속 가공기도 출품되었고 가공시간이 종래것보다 1/10로 단축되었다. 그 외에 직경 0.03㎜의 Wire를 사용하는 초정밀 Wire EDM, ±1㎛의 위치결정 정밀도를 가지는 머시닝센터, 초정밀 비구면 가공기, Pitch 정도가 ±2㎛이하의 성형연삭기, Surface finish가 10nm(Nanometer)의 Polishing machine이 출현하였다.

4. 특기할 만한 공작기계

JIMTOF에 출품한 수많은 공작기계중 특기할만한 공작기계를 선정한다는 것은 어려운 일이나 일본 기계 진흥협회가 38 Item을 추천한 것 중에서 8 Item을 제31회 기계진흥협회상으로 선정한 바 있다. 그 중 공작기계가 4개 있었으며 그것을 소개하면 다음과 같다.

1) Contouring연삭방식 CBN 초고속 원통 연삭반 (Toyoda Koki)

매우 엷은 폭을 가지고 있는 숫돌(Grinding wheel)에 의한 Contouring이라고 하는 새로운 발상을 근거로 한 개의 숫돌로 공작물을 부착시킨대로 원통단면, Taper, Radius부동을 가공할 수 있다. 또 다종류의 공작물에도 대응할 수 있는 새로운 가공법으로 가공을 실현시키는데 성공했다. 자동차용 Diesel engine의 연료분사 Pump의 합금강 부품을 가공한 결과 종래의 연삭반에 비해 가공시간은 40% 단축, 생산량은 2.1배 기계의 총효율을 2배로 향상시켰다.

2) 가공용 고주파 려기 고출력 CNC 탄산 Gas Laser System(Fanuc)

Laser 발진기는 감전에 대한 안전성과 신뢰성의 향상, 소형화를 실현시키기 위한 고주파 방전려기(放電勵起)라고 하는 새로운 기술을 개발하여 세계에서 최초로 고주파 전원의 전고체화를 성공시켰다. 그 결과 박판 가공분야에 있어서는 동System에 의한 Laser가공에서 고가의 금형

이 불필요하게 되었고 Turret punch press를 대체할 수 있게 되었다.

3) 고속중절삭 대응 고정도 머시닝센터(Makino)

발열등의 고능률 가공에 따르는 문제를 해결하고 장시간의 고속 중절삭에 적합한 머시닝센터가 개발되었다. 기술적인 특징은,

① 대출력 주축 Motor를 채용한 고속, 고정도 주축
② 주축 내부에 냉각유를 Bearing의 내륜의 Hole에서 원심력으로 분사시키는 윤활기구
③ 주축내경의 열처리후 Finishing가공으로 주축의 회전 Balance를 개선
④ 열원대책과 온도제어 기술의 철저
⑤ 공구교환과 Table indexing 시간을 종래보다 30% 단축등으로 가공능률이 Al재 가공시 3~10배, Steel재의 가공에는 3배이상의 능률이 향상되었다.

4) 3축 광주사형(光走査型)탄산 Gas Laser 가공기 (Minsubishi전기)

Hole 가공속도는 1㎜ Thickness의 Steel Plate에 10㎜ dia의 Hole을 3분간에 333개 X축에는 Ball screw에 의한 2축동기구동 방식을 채용하여 이송속도 60m/min을 얻어 업계에서 최고속도이다. Turret punch press를 능가하는 고속고생산성을 구현하고 있다. 조작성의 향상과 Space의 효율화를 얻어 가격면에서도 구형기계와 비교하여 30% 저렴하다.

이상 4개의 기계진흥협회로부터 수상한 기계이외에 주목할만한 것을 소개하면 다음과 같다.

5) 생산량의 변화에 적응하는 수평머시닝센터(Makino)

최근의 새로운 개념인 「Agile생산」(예기치 못한 생산의 변화에 적응하기 위한 새로운 생산개념)에 대응하기 위한 Line에 적용하는 중대량 생산의 Engine부품등의 가공에 적합하다.

Agile생산을 위한 Core machine을 위해서는,

① Life cyle의 변동과 고객의 요구와 변화에 따른 생산량의 변화에 용이하게 대응되어야 하며
② Global기업의 Global생산의 Commodity machine으로서 공구, Program, Fixture를 공용화함으로서 조작성의 통일, 보수부품확보의 용이성이 얻어질 수 있다는 특징이 있다. 또 고속가공기로서,
① 주축 회전이 14000RPM(NT 40사용), 고속이송, 40m/min,
② 축심냉각
③ 주축 내경의 정밀 Finishing
④ 2면구속공구채용
⑤ 위치 결정정도가 ±2㎛, Repeatability는 1.5㎛
⑥ Work의 크기 800×800×950㎜
⑦ 중량 1500㎏
⑧ ATC수 40
⑨ ATC 시간 1.9Sec이다

6) Network형 공작기계(Citizen)

PC기능과 통신 Soft등 On line으로 활용할 수 있는 Network형 공작기계(NMT)의 제1탄으로서 소형정밀 CNC선반 Cincom Series의 L16/20을 상품화하여 Internet의 Home page에 의한 Service, Cincom Net을 개설하였다. NMT는 PC를 부착한 개개의 공작기계로부터 직접 Interface로 접속시켜 가공정보등을 Real time으로 송수신하면서 NC조작을 할 수 있는 System이다. 조작반에 NC장치를 내장하여 거기에 Card형의 소형 PC가 조립되어 있으며 Multi-media환경을 형성시키고 있다. User는 Maker의 Support체제인 Cincom-Net을 통하여 기계의 운전에 도움이 되는 Software와 Program의 작성을 순간적으로 받아 지금까지는 수주에 시간이 걸린 자세한 Trouble정보와 Know-How적인 정보도 간단히 이용할 수 있다.

7) 양산가공 초고속 수평형 MC(Yamazaki mazak)

고속가공 Corner에 이송가속도 1G의 양산가공용 초고속 수평형 머시닝센터와 고속 Tapping에 중점을 둔 Column-Traverse Type형의 18개의 신제품을 개발 전시하였다. FF510형은 최근의 부품가공에 있어서 고속화 추세에 따른 MC 생산이 일반화된 것을 토대로 TL과 FTL에 대응할 수 있는 MC로서 개발된 것이다. 이 기계는 이송가속도가 가공속도를 결정한다는 사실을 중시하고 Ball screw를 사용하는 이송구동으로서는 어렵다고 보는 1G를 달성시켜 전축의 급이송속도를 60m/min, 고속 ATC, 15000RPM의 Built-in motor(Option으로 25000RPM)의 채용으로 높은 생산성을 실현시키고 있다. Line화에도 적용이 쉬운 기계구성을 가지고 자동차 부품 가공을 Target으로 하고 있다.

8) Cell용 NC선반(Hitachi Seiki)

기계 본체에 내장시킨 반송용 Robot과 일체화한 자동화용 NC선반으로서 특징은,

① 급이송속도가 30m/min, Tool post의 Indexing시간이 0.8초의 고속성을 가지며
② 단속 중절삭에 저항이 좋은 각형 Slideway를 채용했

으며 고출력 주축에 의해서 안정된 중절삭이 가능

③ 외경절삭할 때의 절삭 깊이가 7㎜, 이송 0.6㎜, 단면 절삭할 때의 깊이가 6㎜, 이송이 0.5㎜가 된다.

Chuck의 직경이 255㎜이며 대물부품의 가공에 성능을 발휘할 수 있다. 주축 회전수가 최대 4000RPM이고 Controller는 PC의 장점을 채용한 자사재의 NC장치를 사용하고 다른 NC공작기계나 관리용 PC와 연결시켜 Data의 공유와 집중관리가 가능하게 하고 있다.

9) ATC부착 Turning Center(Okuma)

복잡한 형상의 공정집약적 가공을 하는 Y축, ATC를 부착한 MACTURN 50등 3개 Series를 출품하였으나 그 중 MACTURN은 220㎜의 직행 Slide방식의 강력, 고정도 Y축, 장시간 무인운전과 다종 Work에 대응할 수 있는 32개의 ATC, 선회공구한개를 부착하는 Tool post, 선회를 B축으로 제어하여 한 회전의 Indexing으로 사면상의 가공과 다면체의 가공이 가능하다. 주축의 전동기는 40㎾, 회전공구용 전동기는 11㎾의 고출력으로 가공능력의 복합가공은 ϕ100㎜ 정면 Milling가공, 선삭가공에 5㎟와 선반과 Milling반을 Docking시킬 수 있는 복합적이고 유연한 가공을 하고 있다.

5. 국제 공작기계 기술자 회의(IMEC)

과거 6회의 경우와 마찬가지로 JIMTOF가 개최되는 동안 금번에도 제7회 국제 공작기계 기술자회의가 (International Machine Tool Engineers Conference,-IMEC) 11월 16, 17일 양일간에 걸쳐 개최되고 신청 참가인원도 200명으로 한정된 전문가가 일본 국내뿐만 아니라 세계 여러 곳에서 참가하였었다. 운영위원장은 공작기계공학의 일인자인 동경공대 Ito(伊東)교수가 맡았다.

Keynote speach에는 R.Wada교수가 "A new concept for next generation machine tool"이란 제목으로 새로운 정보시대에 발 맞추어 비약적으로 발달하고 있는 Information processing과 Sensor technology의 발달은 공작기계 이론, 원칙과 그 방법을 새로 고려해야 할 것이며 Computer의 Open trend에 따라서 종래의 NC 공작기계 구조와 배치가 제고되어야 한다는 것이었다.

다음 Keynote speach에는 독일에서 온 H.Hammer 씨가 "Present and Future Trends of FTL & MC of Line Type of it-Focusing on Automobile Industries"으로서 독일 자동차 공업의 예를 들어 대규모 Batch 생산에 있어서 제조건의 변동을 가능하게 하는 FMS의 생산이 미래에 있어서도 실질적으로 증가할 것이며 Transfer line에 대한 투자가 FMS로 이관될 것이다. 제품의 형식과 증가 경향과 상품의 Life cycle의 단축화에 따라서 FMS에서 증명된 바 있는 변형과 확장에 대한 유연성은 투자 방침의 결정에 큰 영향을 미치고 있다. 다음 Topics는 Technology of Open Architecture CNC이었으며, "Open Architecture CNC Controller in USA"의 제목으로 University of California, Davis의 K.Yamzaki교수가 강연을 하였다. 현재 미국에서는 Open Architecture에 관한 연구가 여러 곳에서 진행되고 있으며, 이 Controller가 서서히 Market으로 도입되어가고 있다. 두개의 Controller가 주류로 되고 있는데 그것은 PC attached to the delicated closed CNC Control system과 PC based CNC with motion control and PLC modules added이다. 장래의 Open CNC Controller에 대한 요구는,

- 각 기능의 고도화
- 다기능화
- 고성능화

이며 미래지향적 Controller TRUE-CNC는 Transparent, Transportable, Transplantable, Revivable, User Reconfigurable Evolving의 개념을 가져야 한다고 제안하고 있다. 그 다음에 독일 Siemens사에서 온 E.H.Bach씨가 "Open architecture controlle for FA"라는 제목으로 Seimens의 Controller는 Windows-based controller이며 고객의 요구에 대한 User interface application에는,

- 일관된 Operation의 개념
- 특별한 진단기능
- 통합화 공구관리기능

표준적인 Hardware와의 Networking 기능을 갖게 하고 전형적인 NC-kernel application에는,

- 특별한 변환
- 특별한 보정
- 특수 목적의 기계에 대한 기능

을 가지게 하며 Siemens의 Software package로 CNC 장치는 집적 CAD/CAM System과 결합이 되고 이것을 넣으므로서 완전한 FA Solution을 확실하게 할 수 있다. 다음은, "Open Technology of Servo System"을 Mr. K Orihashi씨가 Yasukawa전기회사의 제

품을 소개했고, "OSEC : Open Environment for controller"를 Mr. S. Fujita(Mitsubishi전기)가 연구결과를 발표하였다. 다음 "생산성 Energy전략, 환경을 고려한 생산기술"이란 Topics으로, "Environmental Friendly Machining Technology"의 제목으로 Toyota 자동차 회사의 T.Kondo씨가 이야기하고 미국 Ohio주립대학에서 온 Altan교수는, "Leading Edge Net Shape Manufacturing Process"에 대하여 자기들의 연구결과를 소개하고 마지막으로 블란서에서 온 Mr.J.Vigneau 씨가 "High speed and High productive machining of Hard to machine material"에 대하여 발표하였다.

이 기술자회의에서 과거에는 매우 중요한 공작기계 설계에 관한 발표가 있었다. 이 Conference에는 일본의 공작기계에 관한 제일의 전문가들이 모두 모인 장소였다. Coffee break나 환영 Party에서도 서로 명함을 교환해 가면서 자기소개를 하고 담소를 나누는 장면을 보니 일본이 역시 공작기계 기술에 있어서도 세계의 선두에 서 있으니 이와같이 세계적인 인사가 모이는게 아닌가 생각해 보았다. 이 Conference의 Organizing Committee를 살펴보니 4명의 Overseas Advisery Member중에 유명한 독일의 Weck교수, 미국의 Dornfeld교수와 같이 본 정밀공학회 회장인 이장무 교수가 들어가 있는 것을 알게 되었다. 이 교수가 기술외교를 활발히 하는 것을 보고 마음이 든든하였다. 일본의 공작기계 수출이 미국 다음으로 한국임을 고려할 때 그와같은 대우를 하는 것이 당연한 일인지도 모르겠다고 느꼈다.

6. Post Conference Tour

IMEC에 참가한 외국인들만을 위한 Post Conference tour가 Hitachi회사의 Production Engineering Research Loboratory로 안내되었다. Hitachi회사는 세계적인 기업으로 1910년에 창설되고 종업원이 76,106명이며 63개의 공장과 7개의 연구소를 가지고 있으며 그 중 Yokohama에 위치하고 있는 Research Loboratory는 1971년에 창립하여 497명의 연구원이,

A. Manufacturing System
B. Thin Film Devices, Materials, Processes
C. Visual Inspection & Machine Vision
D. Consumer Electronics packaging
E. Computer Packaging
F. Precision Processing
G. Process Automation
H. Environment Facility

에 관한 연구를 하고 있다고 소개가 되어 있었으나 우리에게 보인것 C, F, G의 일부일뿐 공개를 꺼리고 있다는 인상을 받고 기대에 못미친 견학이었다.

7. IMEC와 공동으로 하는 Poster Session

일본의 생산공학 연구자들이 New Technologies of Machine Tool and Manufacturing의 제목으로 Atrium of West Hall의 넓은 장소에서 별표와 같은 50개의 연구결과를 Poster로 만들어 전시하고 있었다.

독일 Aachen 공과대학에서 3년마다 개최하는 Aachener Werkzeugmaschinen Kolloquium(아헨공대 공작기계전문가 회의)에서는 그 동안 실시한 모든 연구결과를 단정하게 도표를 그려 그 연구목적, 연구방법, 연구결과를 자세히 누구든지 알 수 있게 Poster를 전시하고 있는 것을 알고 있는 필자는 일본도 이제야 이 방법으로 대학의 연구내용을 일반인에게 이해시키기 위해서 노력하고 있구나하고 느끼게 하였다. 그다지 많은 사람이 Poster를 구경하지는 않았다. 필자는 전 Project의 Abstract를 얻는데 성공하여 그 중 우리나라 대학에서 학생을 지도하는데 참고가 될 만한 것을 여기에 소개하겠다. 여기에 참가한 대학은 생산공학과 공작기계에 대하여 교수와 학생들이 같이 연구를 하고 그 결과를 세계학술지에 발표하고 있는 대학들이다. 50개의 연구제목과 연구대학의 일람표는 별첨한 바와 같으며 그 중에서 특기할만한 것을 골라 여기에 소개하겠다.

{12} Keio대학이 Mitsubishi material회사와 공동으로 개발한 Magnetostrictive effect를 이용한 절삭 Torque sensor이다. Fig.6에서 보는 바와 같이 Sensor

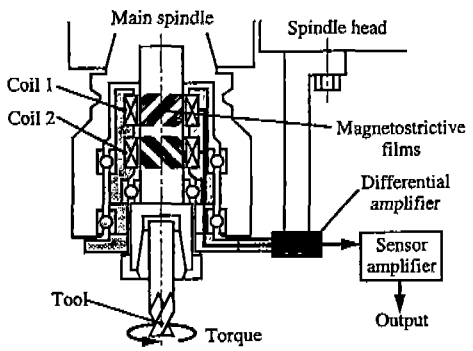

Fig.6 Developed magnetostrictive torque sensor

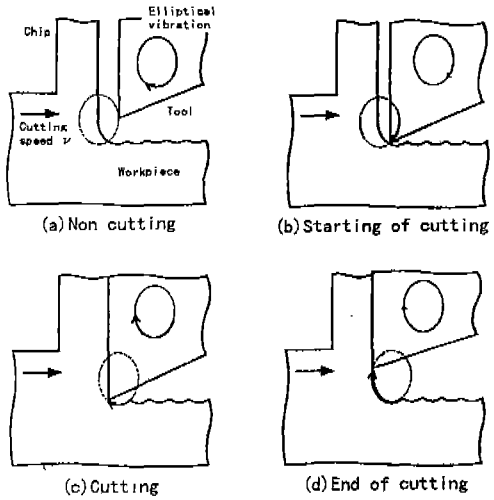

Fig. 7 Elliptical vibration cutting

축의 표면에는 축에 대하여 ±45° 방향으로 Belt형의 Magnetrostrictive Film을 복수 배치하고 있다. 이 Film에 Fe-Ni-Mo-B조성의 재료를 사용 Plasma 사용법으로 형성시켰다. 축의 선단에 부착한 공구에 Torque를 주면 축표면의 Film에 ±45° 방향에 인장응력, -45°에는 압축응력이 발생한다. 이 때 Villari 효과에 의해서 +45° 방향에 배치한 Film에는 투자율(透磁率)이 증가하고 -45° 방향의 Film에는 그 반대이다. Film의 외주에는 통상 Coil이 두개 설치되어 있으며 투자율의 변화에 비례하여 Coil에 Induction이 변화하고 Torque는 두개의 Inductance의 차이로부터 구한다. 이 Torque sensor로 공구결손도 감지가 가능하다. {16} Moriwaki 교수가 지난 추계학술 대회시 특강때 소개한 Ultrasonic Elliptical vibration cutting에 의해서 종래의 진동절삭은 마찰력을 감소시킬 뿐이었으나 이 방법은 Face면이 Chip을 올려가면서 절삭을 하게되므로 마찰력을 Zero 또는 Minus로 반전시킨다. 따라서, Steel의 재료로 경면가공(Mirror finishing)이 가능하다.(Fig.7)

{23} 전기통신대학에서는 5축 제어가공용 공구경로의 자동생성에 관한 연구에서 확실한 5축제어 가공을 실현시키기 위해서 복잡한 공구간섭을 모두 회피하는 것이 문제라는 것을 알고 이 연구에서 공구경로의 생성에 있어서는 Robot Manupulator의 동작계획에 널리 사용되고 있는 Confiquration space(C-Space)의 적용을 시도하였다. 지금까지 2가지 C-Space를 개발하였다. 첫번째는 2

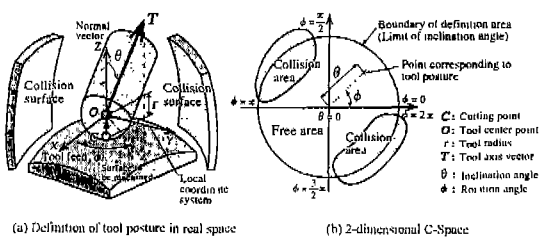

Fig. 8 Concept of 2-dimensional C-space

차원 C-Space f_2는 각 절삭점에 있어서 공구축 Vector를 결정하는 법선 Vector에 대한 경사각 0, 법선 Vector 주위의 회전각 ϕ라고 하는 두개의 Parameter에 의해서 극좌표로 표현할 수 있는 2차원 공간이다.(Fig.8) 이 $f_2(0, \phi)$의 정의 영역에 공구의 주위에 있는 장애물을 사상(寫像)시켜 간섭이 없는 공구의 자세에 대응하는 자유영역과 간섭이 있는 자유영역을 구별할 수 있으며 이 절삭점에 있는 공구자세와 간섭 유무를 명확히 파악할 수 있다. f_2에 CL의 공구 중심점의 이동을 표시하는 Parameter를 하나 더 추가하여 확대시키면 3차원 C-Space f_3이 된다.(Fig.9a) 공구가 진입하는 절삭점으로부터 이탈하는 절삭점까지 한개의 경로속에 있는 공구 중심점의 궤적을 경로의 시발점 0, 종점 1이 되는 Parameter S에 의해서 표현할 수 있는 공간곡선C(s)로 생각한다. 다음에 이 C(s)를 내분하는 임의의 위치에 있어 f_2를 작성하고 그 자유영역의 경계를 θ, ϕ, s의 세가지 Parameter로서 구성되는 3차원 C-Space f3(θ, ϕ, s)상에 배치한다. 여기서 각 s에 있어서 $f_2(s)$의 경계선을 보간하므로서 얻어지는 관상면을 생각한다. 이 관의 내측에 있어서의 임의의 점이 곡선 C(s)상의 공구 중심점위 위치와 간섭이 없는 한개의 공구 자세에 1대1로 대응한다. 관의 입구로부터

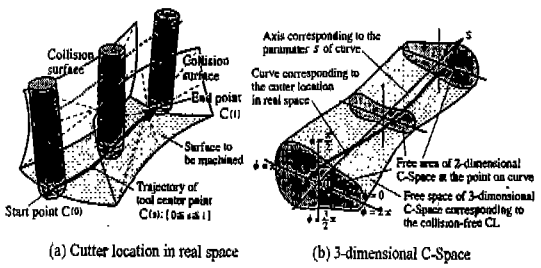

Fig. 9 Concept of 3-dimensional C-Space and the tool path generation

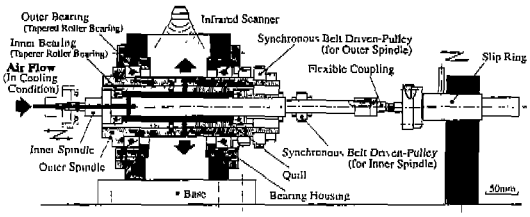

Fig. 10 Schematic View of Experimental Setup

출구를 내부의 면과 간섭함이 없이 부드럽게 연결하는 곡선을 얻을 수 있다면(Fig.9b) 그 곡선을 적당한 허용치를 기초로 분할하고 각 분할점에 있어서의 θ, ψ, s 값에 상당하는 실공간상의 공구의 위치와 자세를 점차적으로 구하므로서 간섭이 없으며 자세변화가 연속적인 CL Data를 생성할 수 있다.

{33} Ito 교수 지도아래 동경공과대학에서 개발한 주축 및 그것을 지지하는 Bearing이 이중으로 배치된 주축계의 Model을 제작하였다.(Fig.10) 이 Model에 있어서는 Inner와 Outer 주축을 동시 또는 독립적인 가동이 가능할 뿐만 아니라 내주축(Inner Spindle), 내주축용 Bearing, Quill로서 구성된 내축 주축계를 Horizontal boring machine의 Boring spindle과 같이 축방향으로 이동이 가능하다. 내주축계에 존재하는 틈새에는 그림에서 보는 바와 같이 공기를 유입시켜 공기 냉각이 가능한 구조이다. 차세대의 System machine의 주축계로서 유효하다고 생각되는 2중 주축구조의 기본적인 열 특성도 연구하였다.

{41} 동경농공대에서는 초음파 탐상법의 하나인 Pulse Echo법을 사용하여 거리 측정장치를 개발하였다.(Fig.11) 절삭액중에 전파된 초음파는 절삭액과 공작물의 경계면에서 일부는 반사된다. 이 반사파와 송신파의 시간간격 T1을 측정하므로서 초음파 송수신자로부터 공작물 표면까지의 거리 L은,

$$L = V\left\{1-\left[\frac{U}{V}\right]^2\right\}T\frac{1}{2}$$

으로부터 얻어진다. V는 절삭액의 음속, U는 절삭액의 유속이다. 절삭액의 유속이 절삭액의 음속에 비해서 충분히 적다고 가정하면 공작물 표면까지의 거리 L은,

$$L = VT\frac{1}{2}$$

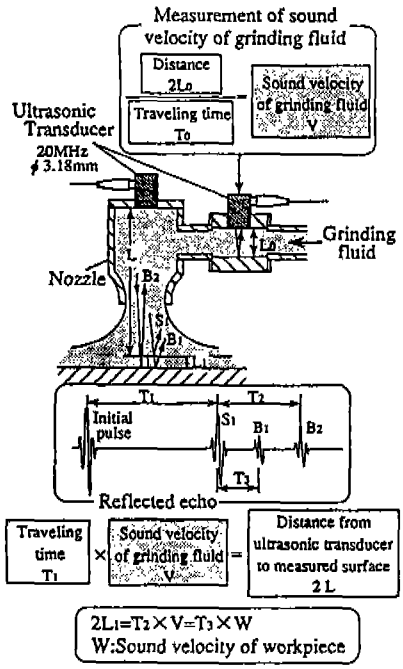

Fig. 11 Apparatus of measuring thickness

로 구할 수 있다. 예를들면, 절삭액의 유속이 1m/s, 음속이 1500m/s인 경우 절삭액의 유속을 고려하지 않을 때 발생하는 오차는 100㎜의 거리 측정에 대해 0.07㎛이다. 또 절삭액의 음속은 온도 등에 의해서 변화하므로 그림에서 보는 바와 같이 측정용 Nozzle에 절삭액의 음속 측정부를 설치하여 절삭액의 음속을 측정하면서 공작물의 치수와 형상을 측정하였다.

8. 결 론

1. 세계 제일의 생산과 수출실적을 가지고 있는 일본 공작기계 공업협회가 주최하는 18회 JIMTOF가 일본 동경 임해단지내의 Tokyo Big Sight에서 11월12일부터 8일간 개최되었다.

2. IMTS, EMO와 더불어 세계의 3대 공작기계 전시회의 하나인 JIMTOF에는 24개국이 참가하여 총 550개 회사가 4900의 Booth로 최신의 신기술을 전시하였다.

3. 신기술로서는 고속주축, 고속이송을 위한 Linear motor 채용, 2면구속 Tooling, Open PC-CNC, Parallel mechanism을 이용한 고속 MC가 출현하였다.

4. 이 전시회 기간중 제6회 공작기계 기술자회의(IMEC)가

성황리에 개최되고 세계 각국으로부터 공작기계 전문가가 모여 진지하게 공작기계 기술의 장래성에 대해 토론이 있었다.

5. Poster session에 일본의 여러 대학에서 50개의 연구결과를 Poster를 만들어 전시하고 있었다. 수준 높은 선진국형 연구활동에 감명을 받았다.

6. Post conference tour로 Yokohama에 있는 Hitachi회사의 Production Engineering Research Laboratory에 안내되었다. 매우 광범위하고 활발히 연구가 진행되고 있는듯 하지만 우리에게는 극히 제한된 시설만 보일뿐 공개를 꺼려한다는 인상을 받았다.

참 고 문 헌

1. 강철희, "CNC-Controller의 발전" 한국정밀공학회지, 제13권 제3호(1996, 3) PP. 9-25
2. 강철희, "고속화 고능률화 기술" 한국정밀공학회지, 제12권 제5호(1995, 5) PP. 5-17
3. 강철희, "고속 MC의 Tooling" 한국정밀공학회지, 제12권 제6호(1995, 6) PP. 5-11
4. 강철희, "공작기계의 새 개념" 한국정밀공학회지, 제13권 제4호(1996, 4) PP. 11-20

第7回 IMEC「工作機械關連의 New Technology」 Poster展 研究Thema · 參加者一覽表

{1} Basic Study of Flexible Chucking
秋田工業高等專門學校機械工學科工作研究室

{2} Study of Chucking Condition Sensor
秋田工業高等專門學校機械工學科工作研究室

{3} Application for Abrasive and Cutting Tools of Reinforced Alumina Materials
大阪市立大學工學部機械工學科機械工作 機械材料講座

{4} Fabrication of Micro Parts by Ultra Precision Cutting
(財)神奈川科學技術Academy桶口「極限Mechatronics」Project

{5} Micro Electrode Formation by Ultra Precision Cutting
(財)神奈川科學技術Academy桶口「極限Mechatronics」Project

{6} In-Process Machine Tool Monitoring
工業技術院機械技術研究所生産System部生産機械研究室

{7} Diamond Turing of Non-Rotationally Symmetric Fine Surface Figures
工業技術院機械技術研究所生産System部生産機械研究室

{8} Development of the Open System Test Bench for the CIM System
(財)機械振興協會技術研究所生産技術部

{9} Development of the Local Control Type Manufacturing Systems
(財)機械振興協會技術研究所生産技術部

{10} Machining Data Base
(財)機械振興協會技術研究所管理部調査普及課

{11} Total Tuning of Feed Drive System of NC Machine Tools
京都大學工學研究科精密工學專攻垣野研究室

{12} Cutting Torque Sensor Based on Magnetostrictive Effect
慶應義塾大學理工學部System Design工學科稻崎 一郎(英)研究室

{13} Application of Electrorheological Fluid for the Dynamic Characteristics Enhancement of Machine Tool Table Systems
慶應義塾大學理工學部System Design工學科青山(藤)研究室

{14} A New Ultrasonic Sensor for Displacement Measurement
慶應義塾大學理工學部機械工學科三井研究室

{15} Ultraprecision Machine Tool and Feed Unit Employing Walking Drive
神戶大學工學部機械工學科Computer統合生産System研究室

{16} Mirror Turning of Hard to Machine Materials by Means of Ultrasonic Elliptical Vibration Cutting
神戶大學工學部機械工學科Computer統合生産System研究室

{17} Study on the Inprocess Monitoring System of Working Surface Conditions of Grinding Wheel
上智大學理工學部機械工學科精密工學講座

{18} The Simplified Presumption Method of Nonlinearity in Machine Tool Elements with the Impulsive Response Testing
上智大學理工學部機械工學科精密工學講座

{19} Study on High Speed Endmilling of Hard Steel Materials
千葉大學工學部機械工學科精密加工研究室

{20} Study on High Cutting of Metal Materials in Vacuum
千葉大學工學部機械工學科精密加工研究室

{21} Intelligent Robot-Vision-System Engraving a Wood Block by Robot
千葉大學工學部情報工學科Mechatronics研究室

{22} 3D Prototyping by Wire-Cut Machining
千葉大學工學部情報工學科Mechatronics研究室

{23} Automatic Tool Path Generation for 5-Axis Control Machining
電氣通信大學電氣通信學部機械制御工學科竹內研究室

{24} 6-Axis Control Squared Corner Shaping
電氣通信大學電氣通信學部機械制御工學科竹內研究室

{25} Ductile Mode Cutting of Optical Glass Using a Flying Tool by the Action of Hydrostatic Bearing
東京大學生産技術研究所谷研究室

{26} Development of Grinding Technology Considering Anodic Passivation
東京大學生産技術研究所谷研究室

{27} Practical Machining Condition Determination System Using Multi-Axis Force Information
東京大學工學部産業機械工學科長尾 光石研究室

{28} High Precision Machining/Measurement System with Active Thermal Deformation Compensation
東京大學工學部産業機械工學科長尾 光石研究室

{29} Virtual Machining System
東京工業大學工學部機械宇宙學科白 木堅 · 帶川研究室

{30} Machining Environment-Controlled Ultraprecision Machine Tool "CAPSULE"
東京工業大學精密工學研究所精機Device部門新野研究室

{31} Precision Positioning Table System Using Electrorheological Fluid
東京工業大學精密工學研究所精機Device部門新野研究室

{32} Water Jet Cutting State Detection using Cutting Force Information
東京工業大學工學部機械知能System學科伊東研究室

{33} Thermal Behavior of Two-Layered Spindle for System Machine
東京工業大學工學部機械知能System工學伊東研究室

{34} Estimation of Tool Temperature in Milling Operation
東京電氣大學工學部機械工學科IMS研究室

{35} Tool Wear Monitoring in Milling Operation
東京電氣大學工學部機械工學科IMS研究室

{36} Precise Micro-machining using Anisotropic Etching
東京都立大學工學部精密機械工學科精密加工學研究室

{37} Generating and Ultra-flat Surface using Molecular Beam Epitaxy
東京都立大學工學部精密機械工學科精密加工學研究室

{38} Measurement & Compensation of Corner Tracking Errors of CNC Machine Tools
東京農工大學大學院生物System應用科學研究科堤研究室

{39} Static & Dynamic Characteristics of New Tool Interface
東京農工大學大學院生物System應用科學研究科堤研究室

{40} Study on Thermal Deformation of Machine Tool Estimated by its Characteristics
東京農工大學工學部機械Technology學科西脇研究室

{41} Measurement of Workpiece Shape and Roughness by Ultrasonic Wave during Machining Process
東京農工大學工學部機械Technology工學科西脇研究室

{42} Development of Arc Truer for Super Abrasive Wheels
東北大學工學部機械電子工學科精密加工研究室

{43} Block Machining Pilot Shop
豊橋技術科學大學生産System工學系CAD/CAM Group

{44} Approach to Thermal Analysis of Machine Tools under Operating States
豊橋技術科學大學生産System工學系CAD/CAM Group

{45} Continuation of Tool Life by Applying Tool Post using Ceramic Resin Concrete
長岡技術科學大學工作Center田邊研究室

{46} Development of Ceramic Resin Concrete for Precision Machine Tool Structures
長岡技術科學大學工作Center田邊研究室

{47} Electrical Discharge Machining on Insulating Ceramics
長岡技術科學大學機械系福澤研究室

{48} Study on High Precision Machine Tool-A Trial of Real-time Accuracy Control by Use of Open-NC-
新潟縣工業技術總合研究所研究開發Center

{49} The Study on Human-Oriented Manufacturing System
早稻田大學理工學部機械工學科中澤研究室

{50} The Study on Operator Intervention Error Correction Device
早稻田大學理工學部機械工學科中澤研究室