



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R15:1988

Industrirobotar i byggindustrin

Förstudie

Väino Tarandi m fl

INSTITUTET FÖR
BYGGDOKUMENTATION

Accnr

Plac *ser*

*K
Jull*

Byggeforskningsrådet

R15:1988

INDUSTRIROBOTAR I BYGGINDUSTRIN

Förstudie

Väino Tarandi
Håkan Birke
Uno Pettersson
Örjan Pierrou
Håkan Sundquist

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 821559-5 från Statens råd för byggnadsforskning till SIAB, Förvaltning för Teknik och Management, Stockholm.

REFERAT

Avsikten med denna förstudie har varit att:

- Kartlägga den internationella utvecklingen av robotar för byggtillämpningar.
- Kartlägga behov av robotar i byggnadsindustrin, applikationsområden och kravspecifikationer.
- Precisera intressanta tillämpningar. Göra upp en plan för utveckling av robotar för dessa applikationer. Föreslå utförandet av pilotinstallation och provverksamhet.

Arbetet har bestått av litteraturstudier, studieresor, konferensdeltagande och utvärderingar. Som resultat av utredningen kan följande huvudpunkter nämnas:

- Utvecklingen av robotar för byggbranschen befinner sig i ett inledningsstadium. Många så kallade robotar finns framför allt i Japan men också i USA och Västeuropa. De flesta av dessa är automatiserade maskiner, vilket i sig är en intressant och utvecklingsbar inriktning.
- Riktiga robotar finns endast i teststadiet och på ett flertal platser i världen.
- Vill man hänga med och påverka utvecklingen inom robotområdet är tiden mogen just nu. Det tyngsta skälet till robotisering är arbetsmiljön.

För utvärdering av robotiseringens möjligheter föreslås genomförande av ett pilotprojekt.

I Byggeforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R15:1988

ISBN 91-540-4847-8
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm
Svenskt Tryck Stockholm 1988

INNEHÅLL

1	INLEDNING	4
1.1	Industrirobotar, definition	4
1.2	Behov av robotar i byggnadsindustrin.	4
1.3	Robotars användningsområden	4
2	KARTLÄGGNING AV INDUSTRIROBOTAPPLIKATIONER INOM BYGGNADSINDUSTRIN	6
2.1	Metoder	6
2.1.1	Litteratur	6
2.1.2	Studiebesök.	6
2.1.3	Studieresa	6
2.1.4	Konferens	6
2.2	Litteraturstudier	6
2.3	Studiebesök	7
2.3.1	ASEA	7
2.3.2	Spine Robotics	7
2.4	Studieresa till Japan	7
2.4.1	JIRA	8
2.4.2	MITI	8
2.4.3	Ministry of Construction	8
2.4.4	KAJIMA	8
2.4.5	TAKENAKA	9
2.4.6	SHIMIZU	9
2.4.7	TAISEI	9
2.5	Robotkonferens i Pittsburgh	10
2.5.1	Allmänt.	10
2.5.2	Sammanfattning av konferensen	10
3	KARTLÄGGNING AV INDUSTRIROBOTBEHOVET INOM BYGGNADSINDUSTRIN	12
4	RESULTATREDOVISNING	13
4.1	Allmänt	13
4.2	Precisering av intressanta applikationer	14
4.3	Förslag till pilotprojekt	14
	LITTERATUR	15
BILAGA 1	Reseberättelse Japan	16
BILAGA 2	Rapport från Robotkonferensen 1984 i Pittsburgh	30
BILAGA 3	Enkät om automatiseringsbehov i byggnadsindustrin	46
BILAGA 4	Sammanfattningar av japanska tidningsartiklar (JIRA, Hasegawa m fl)	47
BILAGA 5	SHIMIZU's sprutrobot.	

FÖRORD

Avsikten med denna förstudie har varit att:

- Kartlägga den internationella utvecklingen av robotar för byggtillämpningar.
- Kartlägga behov av robotar i byggnadsindustrin, applikationsområden och kravspecifikation.
- Precisera intressanta tillämpningar. Göra upp en plan för utveckling av robotar för dessa applikationer. Föreslå utförandet av pilotinstallation och provverksamhet.

Arbetet har bestått av:

- Studier av litteratur 1983
- Studieresa till Japan våren 1984
- Konferensbesök vid Carnegie-Mellon sommaren 1985

Gruppens verksamhetsområde täcker hela byggprocessen och har därigenom möjliggjort en allsidig värdering av de robot-tillämpningar som vi har sett och läst om.

- | | |
|-------------------|----------------|
| - Väino Tarandi | CAD/data |
| - Håkan Birke | Projektskapare |
| - Uno Pettersson | Projektledare |
| - Örjan Pierrou | Produktion |
| - Håkan Sundqvist | Teknik/statik |

Stockholm september 1987

Väino Tarandi

1 INLEDNING

1.1 Industrirobotar, definition

Utvecklingen av datorer är en förutsättning för robotisering. Inom tillverkningsindustrin har robotar funnits en lång tid och det finns idag fabriker som helt och hållet är robotiserade. Det är helt klart att robotarna är produktivitetsökande.

I Japan har man följande klassificering: (enligt JIRA)

"En allsidig maskin utrustad med en minnesenhet och en terminal, kapabel att ersätta mänskligt arbete genom automatiskt genomförda rörelser."

- 1 Manual control
- 2 Fixed sequence
- 3 Variable sequence
- 4 Playback control
- 5 NC control
- 6 Intelligent robots

I USA är definitionen strängare: (enligt The Robot Inst. of America)

"En omprogrammerbar flerfunktionsmanipulator gjord för att flytta material, delar, verktyg eller specialiserad utrustning genom varierbara programmerade rörelser för att utföra olika uppgifter."

Enligt denna definition är endast 3, 4, 5 och 6 ovan robotar.

Japanernas definition ger 90.000 robotar i Japan, medan den amerikanska definitionen ger 7.000 i Japan och 1.500 i Sverige.

Världens ledande länder inom denna utvecklingsgren är Japan, USA och Sverige.

1.2 Behov av robotar i byggnadsindustrin

- I Sverige och i de flesta andra industriländerna sjunker idag produktiviteten inom byggsektorn till skillnad mot övrig industri.
- Många arbetsmoment i byggproduktionen är farliga och ohälsosamma (lösningsmedel, damm, vibrationer, oljud etc.). Av den anledningen har många välbeprövade metoder försvunnit. Det är också svårt att hitta kvalificerad arbetskraft.
- Svensk byggexport behöver stärkas i den hårda konkurrensen.

1.3 Robotars användningsområden

De senaste åren har allt fler rapporter kommit från Japan och USA, som talar om möjligheter att öka effektiviteten och minska arbetsmiljöfarliga arbeten genom att använda robotar också i byggbranschen.

Det finns ett stort intresse för dessa frågor, vilket bevisas av att det sedan sommaren 1984 finns konferenser i ämnet i USA.

Battelle's Laboratories gör för närvarande en omfattande studie av potentiella robotapplikationer på byggplatser. Ett antal företag i USA och Västeuropa bidrar ekonomiskt till studien, som pågår i två år.

2 KARTLÄGGNING AV INDUSTRIROBOTAPPLIKATIONER INOM BYGGNADSINDUSTRIN

2.1 Metoder

2.1.1 Litteratur

För att kartlägga vilka applikationer som förekommer har vi låtit BYGGDOK söka litteratur i sin egen databas och i ett antal amerikanska och europeiska databaser. (Se bilaga 4)

Vi har använt egna kontakter i robotbranschen för att hitta litteratur i form av japanska forskningsrapporter och föredrag.

2.1.2 Studiebesök

För att få kunskap om robotars sätt att arbeta i praktiken har vi besökt ASEAs robotdivision i Västerås och Spine Robotics i Göteborg.

2.1.3 Studieresa

Eftersom tidskrifter och litteratur pekar på Japan som ledande nation gjorde vi en studieresa till Tokyo för att själva kunna bedöma applikationerna, som vi hade sett i olika artiklar. (Se bilaga 1)

2.1.4 Konferens

Efter vår studieresa till Japan blev vi inbjudna som föredragshållare vid den första konferensen om robotar i byggbranschen. Den ägde rum i juni 1984 vid Carnegie-Mellon-universitetet i Pittsburgh. Totalt deltog ett åttiotal personer, varav ett tiotal från Japan och Europa. (Se bilaga 2)

2.2 Litteraturstudier

BYGGDOKs sökningar visar att robotar inom byggnadsindustrin, internationellt sett, fortfarande befinner sig på experimentstadiet. Dock framskymtar många intressanta tillämpningar i framtiden.

- Carnegie-Mellon University - armeringsrobotar, tunnelinklädnadsrobotar, murning m m. Robotkonferens varje år.
- Manipulatorer - Hiab-Foco (transport och hantering).
- Datorisering, laserstyrning av konventionella byggmaskiner.
- Avloppstunneldrivning i Hamburg.
- Oceantillämpningar - fransk manipulator för undervattensreparationer. Utläggning av rör på havsbotten, Västtyskland.

- Laddrobot - Nitro Nobel Mec AB.
- Tunnelinklädning med sprutbetong, fjärrstyrd - Norge.
- Asfaltfräs - Västtyskland.
- Japan takes early lead in robotics - artikel i sammanfattning.

De av oss själva införskaffade japanska rapporterna och annan litteratur belyser några områden.

- Robotization of reinforced concrete building construction. Utveckla en ny produktionsprocess för att underlätta robotisering. Standardisera varje byggnadsdel och förbered för CAD/CAM.
- The robotics industry of Japan today and tomorrow. Brist på kvalificerad personal. Farliga arbeten. Ötrevliga arbeten. Arbeten som inte kan utföras av människor.
- Robots in industry - sammanfattning av den allmänna delen av utgiven bok.

2.3 Studiebesök

2.3.1 ASEA

De flesta robotarna är stationära. Maxavståndet till kontrollenheten är 15 m. Både kraftförsörjning och styrning blir problematiska på ett bygge, där kontrollenheten måste följa med på något sätt. Kraftförsörjningen bör ske med batterier. Ett problem är robotens räckvidd, den måste flyttas relativt ofta, om den skall bearbeta en vägg och likaså måste armen kunna förlängas vid arbete nere vid golvet. Kostnaden för ASEAs minsta robot är ca 0.5 milj kr.

2.3.2 Spine Robotics

Ryggradsroboten är helt hydraulisk - bra vid brandfara, typ sprutmålning - och uppbyggd av förspända lameller. Kontrollenheten styrs av en vanlig mikrodator. Den rörliga armen har sju frihetsgrader (även rullning), vilket möjliggör åtkomst av svåra ställen. Denna robot har en mycket stor räckvidd och når även ner till golvet och upp till 4 m i höjdd. Används bl a av VOLVO för målningensarbeten inuti chassin. Priset är 0.75 milj kr.

2.4 Studieresa till Japan

Vi besökte med hjälp av Sveriges Tekniska Attachéer de flesta av de största japanska byggnadsentreprenörerna. Vi fick en mycket god bild av vad de håller på med, även om de var förtegnade om vissa projekt.

Samtliga applikationer som vi kände till hemifrån kom vi i kontakt med.

2.4.1 JIRA (Japan Industry Robot Association)

Robotar används även i mindre företag tack vare sin flexibilitet och "multipurpose". De miljöfarliga jobben har robotiserats. Inom byggnadsindustrin finns idag betongutläggning, brandskydd med cement/rockwool på stålbalkar och tunnelinklädnad. Huvudanledningen till att dessa tillämpningar finns, är svårigheten att rekrytera folk till sådana farliga jobb.

I framtiden kommer kraftförsörjningen inom bygg- och varvsapplikationer att ske med hjälp av batterier och robotarna kommer att ta sig fram med hjälp av ben eller hjul. "Robotarna" inom byggbranschen idag kontrolleras mer eller mindre av operatörer.

De stora byggnadsentreprenörerna driver egen utveckling även på robotområdet. Det blir i första hand de farliga och tunga jobben som robotiseras.

För att byggnadsindustrin skall kunna robotiseras, måste först "design"-arbetet standardiseras.

2.4.2 MITI (Ministry of International Trade and Industry)

Ett nationellt projekt startades 1984 och skall pågå i åtta år. Det kommer att kosta ca 600 milj kr och skall omfatta grundläggande forskning för alla applikationer och kommer att handla om kärnkraft, oceanjobb och brand. Dessa områden är så svåra att lösningen av deras problem också innebär en lösning inom många andra områden. Speciellt svårt är det att instruera en robot att arbeta i 3D-miljö. Tror inte att bygg är ett viktigt område för robotar, men däremot kommer fjärrstyrda robotar. Inom verkstadsindustrin är robotarna idag så långt utvecklade att företagen själva kan förädla dessa utan stöd av nationella utvecklingsprojekt.

2.4.3 Ministry of Construction

Ministeriet har startat ett femårsprojekt, som kommer att kosta 15 milj kr. Avsikten är att utveckla hård- och mjukvara, så att man kan styra datoriserade maskiner både inom husbyggnad och anläggning. Idag finns en betongutläggningsrobot och en sprutrobot.

Man arbetar mycket med maskiner utrustade med datorer och telekommunikation. Bland annat fjärrstyrda grävmaskiner.

2.4.4 KAJIMA

Har ingen robotutveckling idag.

2.4.5 TAKENAKA

Man arbetar med fem "robottyper" för tillfället. Ingen av dessa är något annat än mer eller mindre automatiska maskiner.

- Kran för lyftning och fixering av armeringsstänger till kärnkraftverk.
- Maskin som lyfter och håller balkformar på plats vid motorvägsbyggen.
- Maskin som drar ut hopmonterade sektioner över farliga områden som järnvägar.
- Betongfördelningsmaskin som fästs på stälpelare och sedan styrs av en operatör. Betongen pumpas ut genom den ledade armen och vibreras sedan med stavar, som hänger på den främre delen.
- Maskin för inspektion av fasadbeklädnader. Suger sig fast och klättrar. Mycket vanligt med keramiska plattor som fasadmaterial.

Takenaka räknar med att antalet byggnadsarbetare minskar, vilket kommer att öka efterfrågan på robotar. Man blir av med de farliga jobben. För att bättre utnyttja robotar i framtiden krävs ett anpassat projekteringsarbete.

2.4.6 SHIMIZU

Här fick vi se den enda riktiga roboten av alla de vi läst om. Robotprojektet startades för att ta bort det farliga arbetet med brandskyddssprutning av stålbalkar i tak, för att förbättra effektiviteten och för att klara av bristen på arbetskraft.

Robotdelen är en standard Trallfa UTR 3000 F, som man har ställt på en egenkonstruerad transportdel. Den drar med sig en kontrollenhet och en hydraulisk enhet. Använder play back-teknik och känner av balken med hjälp av sensorer. Man har nått lovande resultat vid fullskaleprov på riktiga objekt. Kvalitet och effektivitet blev bättre än vid manuellt arbete. Shimizu kommer att utveckla tre robotar till inom den närmaste tiden, men dessa är än så länge hemliga. Man räknar med att 3-4 stora entreprenörer kommer att utveckla robotar i framtiden.

2.4.7 TAISEI

Har inriktat sig på robotar inom husbyggnation och anläggning. Även deras "robotar" var mer eller mindre automatiska maskiner.

- Maskin för inspektion och underhåll av fasader klar 1984.
- Maskiner för geologisk undersökning, automatisk formsättning och "shielding works" har börjat utvecklas.

- Tunnelsprutningsmaskin för mindre sektioner. Den går på räls och har ett roterande sprutmunstycke. Specialblandad betong används.
- En liknande maskin för stora sektioner. Ett specialmunstycke monteras på en valfria maskin med arm. Specialbetongen sprutas med en fram- och tillbakagående rotationsrörelse, hela tiden vinkelrätt mot väggen.

I framtiden planerar man att sätta en robot i bulldozer för undervattensjobb.

2.5 Robotkonferens i Pittsburgh

2.5.1 Allmänt

Robotinstitutet startades 1980, och 1983 fick man även en avdelning för "Construction robotics".

De bedriver en intensiv forskning och sökte 1984 pengar för att ordna den första konferensen om robotar i branschen.

2.5.2 Sammanfattning av konferensen

Föredragen behandlade följande områden:

Principer för sensorer och rörelsekontroll

- Dynamisk modellering av omgivningen och navigering av en intelligent mobil plattform. Med hjälp av sonar registreras hinder. En modell för omgivningen jämförs hela tiden med vad ekolodet registrerar, därefter korrigeras rörelsen.
- Sensorer kan användas för automatiskt byggande. Streckkoder för element och positioner kan utnyttjas. Man arbetar med de enskilda sensorerna upp till komplexa system.

Robotar i farliga miljöer

Utvecklingen går från robotar i farliga miljöer till robotar för byggapplikationer.

- Rymd. (Rymdskyttearm, mobila robotar, rymdbyggande)
- Militär. (Minfältsröjning, sexbent robot m m)
- Kärnkraft. (Återställning efter olyckor, Three Mile Island, heta celler m m)
- Under vatten. (Exploatering, räddning m m)
- Under jord. (Sköldtunneldrivning)

- Övervakning av storskaliga manipulationer i besvärliga miljöer. Operatören pekar ut föremål och roboten utför rörelsen. Människan är fortfarande överlägsen som observatör. Finns i Finland och används vid bl a skogs- och gruv-industri.

Robotar i byggsystem

Sensorer är nödvändiga. Bearbetning av ytor, förflyttning av verktyg och sammansättning av komponenter är de tre typerna som behövs.

Shimizus sprutrobot nämndes igen.

Robotsammansättning av hus vid mobilisering studeras av US Army.

Robotar i "Heavy construction"

Tunneldrivning av robotar. Hazama-gumi driver tunnlar helt automatiskt men med mänsklig övervakning.

Gående maskiner studeras i USA.

Expertsystemens roll i robotiseringen

För att klara den variation av uppgifter som finns på en bygg-arbetsplats krävs expertsystem. De intelligenta robotarna kommer först efter år 2000 ute på arbetsplatserna.

Datorgrafik i byggproduktionsplanering används i Japan för att studera robotarnas utrymmesbehov.

Synpunkter

- Från CAD till expertsystem till robotar till maskiner.
- Mekanik och elektronik måste behärskas. Vi måste lära data från grunden även inom byggbranschen.
- I Japan arbetar man med robotar idag för vinst i morgon.
- Robotutvecklingen måste samordnas.
- Starta något projekt som någorlunda kan klaras ekonomiskt.
- Byggbranschen behöver inte komma på efterkälken i "High-Tech"-framtiden.
- Verktyg blir mindre för robotar.
- Storleken på byggelement kan förändras.

3 KARTLÄGGNING AV BEHOVET AV INDUSTRIROBOTAR I BYGG-
BRANSCHEN

För att finna de farliga arbetsuppgifterna som orsakades av arbetsmiljön kontaktade vi Bygghälsan, Arbetarskyddsfonden och Arbetsolycksfallsgruppen vid Tekniska Högskolan i Stockholm. Tyvärr gick det inte att identifiera arbetsuppgifterna vid olyckstillfället eftersom dessa endast är relaterade till skador som fall, verktyg mot kroppen etc.

Helt klart är att en riktig undersökning av detta skulle kunna ge viktig information om vad som behöver automatiseras eller robotiseras.

För att få en uppfattning om behovet av automatisering och robotisering samt anledningen därtill, gick vi ut med en enkät till platschefer i SIAB. Svårigheten vid frågeställningen var troligen att kunna föreställa sig möjligheterna med den nya tekniken. I och med det är det också svårt att få ett uttalat behov av robotar.

Resultatet visar att sprutmålning är mest intressant att automatisera. Därefter kommer slipning och spackling. Huvudanledningen är arbetsmiljön. (Se bilaga 3)

4 RESULTATREDOVISNING

4.1 Allmänt

- Utvecklingen av robotar för byggbranschen befinner sig i ett inledningsskede. Många så kallade robotar finns framför allt i Japan men också i USA och Västeuropa. De flesta av dessa är automatiserade maskiner, vilket i sig är en intressant och utvecklingsbar inriktning.
- Riktiga robotar finns endast i teststadiet och på ett flertal platser i världen.
- Vill man hänga med och påverka utvecklingen inom robotområdet är tiden mogen just nu. Det tyngsta skälet till robotisering är arbetsmiljön.
- Idag utvecklas en mängd nya automatiska maskiner med fjärrstyrning, vilket förbereder för riktiga robotar. Det är viktigt att få ut en "prototyp" på en byggarbetsplats, så att folk i produktionen får se alla möjligheter.
- Projekteringsarbetet måste anpassas till elementbyggande enligt de besökta företagen. Det krävs för att möjliggöra transport och montage med hjälp av robotar. CAD-ritningen blir den viktigaste informationsbäraren, eftersom den beskriver geometri och kopplingar grafiskt och knyter till sig övrig information i databasen. Detta kräver ett strukturerat projekteringsarbete där byggdelarna blir den naturliga basen, vilket också krävs för datorstödd mängdavgivning.
- Behovet av kvalificerad arbetskraft gör också att det behövs mer automatik på arbetsplatserna, alternativt i prefabrikerna. Kan inte effektiviteten höjas, finns risken att myndigheterna griper in och prioriterar vissa typer av projekt genom att stoppa andra, med hänvisning till brist på kvalificerad arbetskraft.
- Den framtida byggarbetsplatsen kommer sannolikt att ha ett flertal stationära robotar för flera funktioner, stående i någon sorts fältfabrik, där de kapar och bockar armering, fogar ihop element, svetsar, slipar, målar m m. På våningsplanen kommer det att finnas mer eller mindre självgående robotar som kan sköta sig själva inom rätt stora områden efter det att den första grovstädningen är gjord. De måste ha batteridrift för att bli effektiva.
- För närvarande är människan överlägsen robotar som observatör. Genom att låta henne styra en robot till viss del kan hon låta roboten utföra olika moment, efter det att operatören har pekat ut aktuella platser.

4.2 Precisering av intressanta applikationer

Av de studier som vi har gjort av befintliga tillämpningar och enligt den enkät, som skickats ut inom SIAB har följande tillämpningar visat sig vara intressanta:

- Färgsprutning (miljö)
- Betongslipning (miljö)
- Betongbilning (ergonomi)
- Armeringsbearbetning (ergonomi)
- Betongspackling (ergonomi)

Kravet på en robot som skall spruta färg är att den inte är brandfarlig. Armeringsroboten kan vara stationär, medan alla de andra bör vara mer eller mindre självförflyttande. Eftersom de flesta robotar inte tål minusgrader, måste arbetet ske "inomhus". Det är också viktigt att roboten har stor räckvidd vid färgsprutning, slipning och spackling.

4.3 Förslag till pilotprojekt

Ett pilotprojekt skall vara både utvecklande och praktiskt användbart.

Det bästa är naturligtvis att utveckla en robot för flera snarlika arbetsuppgifter. Vi föreslår att en mobil robot för betongslipning, betongspackling och färgsprutning blir ett pilotprojekt. Den mobila plattformen bör sökas bland befintliga sådana, avsedda för andra maskiner som idag fjärrstyrs. Problemet med dessa är troligen att de inte är tillräckligt exakta i sin positionering, men det kan naturligtvis justeras efter inmätning på samma sätt som med sprutroboten.

Som en förlängning av projektet kan sedan betongbilning och armeringsbockning provas, varvid roboten sätts fast för stationärt arbete. Som robot skall en standardmodell väljas. Fabrikatet blir antingen ASEA eller Spine Robotics beroende på kravspecifikationen som görs i samband med projektets start.

LITTERATUR

Arbeterskyddsfonden, 1982, Rapport 1, Samarbete med ASEA AB.
"Arbetssäkerhet vid användning av industrirobotar"

Bygghälsan, 1982, Rapport
"Kvartsdamm vid betongbearbetning"

Bygghälsan, 1972, Rapport
"Betongslipning - miljö och arbetstyngd vid torrslipning på bygg-
plats"

Bygghälsan, 1982, Rapport
"Survey of Working Environment in Concrete Construction"

Richard K Milley, 1982, SEAI Institute, USA
"Robots in Industry"

Hasegawa, Yuhio
"Robotization of reinforced..."

JIRA, 1982
"The robotics industry of Japan today and tomorrow"

ENR, 1983 07 21
"Japan takes early lead in robotics"

INDUSTRIROBOTAR I BYGGNADSINDUSTRINRapport från Japanresa 28/1 - 6/2 1984

Entreprenadföretagen KAJIMA, TAKENAKA, SHIMIZU och TAISEI tillhör de fem största i Japan och omsätter ca 30 miljarder kronor per år.

BESÖK HOS JIRA - JAPAN INDUSTRIAL ROBOT ASSOCIATION.

Secretary General Mr Yasuhiro Komori tog emot och visade en videofilm om användningen av robotar i Japan, i huvudsak inom verkstadsindustrin. Användningsområden för de fyra huvudtyperna visades: Kartesiska koordinatsystem, cylindrisk rotation plus vertikalrörelse, dito med handled, "helt rörlig".

Några synpunkter: Robotar används mycket även i mindre företag p g a sin flexibilitet och "multi-purpose". De miljöfarliga jobben har robotiserats. Robotar som kontrolleras manuellt (d v s remote control) har stora användningsområden. Vid gjutning av plastdetaljer har antalet defekta enheter understigit 0.1%, vilket inte är möjligt att uppnå vid manuell tillverkning. Robotarna klarar nu också kvalificerad svetsning lika bra som en duktig yrkesman med den skillnaden att roboten kan hålla på i evighet. För testning av produkter som skall utsättas för många cykler av givna operationer, passar roboten bra, eftersom alla blir exakt lika. Den intelligenta roboten har visuell och taktill (känsl) förmåga att närma sig föremål. Dessa kan nu även lyfta mjuka föremål som t ex människor utan att klämma för hårt. Städningsrobotar klarar av att känna gränser. Gående robotar klarar trappor m m med sina ben. Ledade robotar med s k spine utvecklas på många håll.

I diskussionen som följde nämnde Mr Komori de byggapplikationer som finns idag; betongutläggning, brandskydd med cement/rockwool på stål-balkar och tunnelinklädnad. Som huvudorsak till robotisering inom dessa områden angav han svårigheten att rekrytera folk till sådana farliga jobb. För kraftförsörjning inom bygg- och varvsapplikationer kommer i framtiden batterier att användas. Idag krävs kablar plus kontrollenhet. Rörelseförmågan kommer att ordnas med hjälp av ben och hjul. Han ansåg också att de robotar som finns idag inom byggbranschen kontrolleras mer eller mindre av operatörer. Kostnaderna för olika typer av robotar uppskattade han till:

A	Manuell manipulator	Mycket varierande
B	Bestämd sekvens	3-4 miljoner yen
C	Variérande sekvens	3-7 " -
D	Playback	7-10 " -
E	NC	3-5-10 " -
F	Intelligent	Vad som helst

Från och med i år skall en robot för farliga miljöer utvecklas. Projektet skall löpa under 8 år och beräknas kosta 20 miljarder yen. Projektet bekostas av staten.

Inom byggbranschen pågår en egen utveckling hos de stora företagen. Ministry of Construction har också pengar avsatta för utveckling. Den första roboten kom för 13 år sedan i Japan. De äldsta som används idag är ca 10 år. Underhållet är viktigt.

Japan kommer i framtiden att ligga först vad gäller applikationer, men USA kommer ikapp på den tekniska sidan. Det blir de farliga och tunga jobben som robotiseras. Om byggnadsindustrin skall robotiseras måste designarbetet standardiseras, eftersom "designers" komplicerar.

BESÖK HOS MITI - MINISTRY OF INTERNATIONAL TRADE AND INDUSTRY.

Forskaren Mr Tsutomu Hasegawa tog emot oss och presenterade kommande forskningsprojekt. Ett nationellt projekt påbörjas nu och skall pågå i åtta år. Kostnaden blir 20 miljarder yen och betalas av den privata industrin. Det skall omfatta grundläggande forskning för alla applikationer. Genom att arbeta med tre områden täcks alla behov in.

De tre områdena blir:

Kärnkraft - Robotar som arbetar i farliga miljöer
 Ocean - Underhåll av oljesystem under vattnet
 Brand - Brandskydd, släckning och räddning på t ex stora arbetsplatser i höghus

Avsikten är att utveckla robotar för förhållanden, som är farliga för människor, t ex radioaktivitet, högt vattentryck och hög temperatur. För att klara detta krävs utveckling av grundläggande teknologier.

Dessa blir:

Mekanism - Förflyttning i trappor, sluttningar m m
 Koppling till manipulator
 Sensorer för bedömning
 Kontrollsystem - Kommunikation mellan människa och robot.

Till en början skall en verifikation göras av nödvändigt utvecklingsarbete. Därefter skall en organisation skapas som utför arbetet. Här finns ett internationellt samarbete mellan USA, England, Västtyskland, Italien, Frankrike, Canada och Japan. Företagen är ännu ej utvalda.

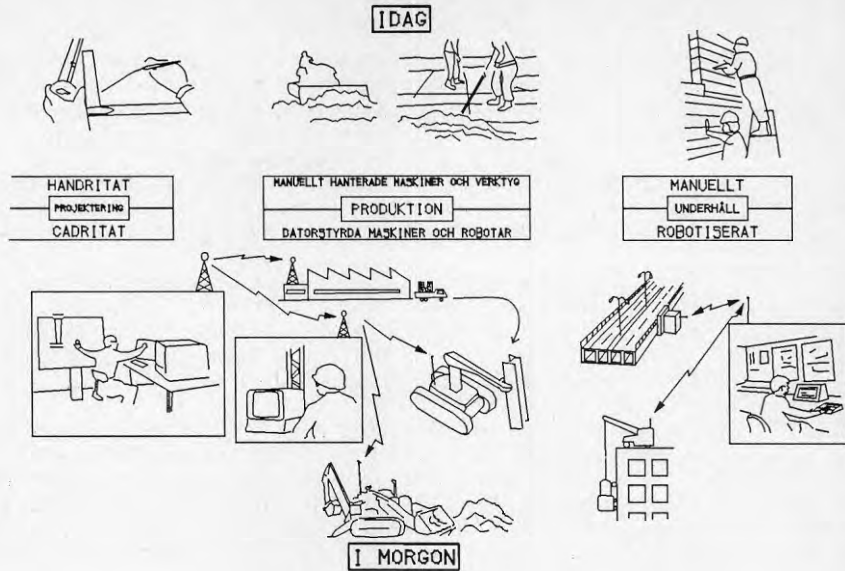
Under diskussionen som följde framkom att många företag idag jobbar med kraftförsörjningen. Battericeller kan bli en lösning, men hittills är inget bestämt. Man kommer att använda det system som finns att tillgå, när robotarna skall tas fram om ca fyra år. Storleken på robotarna för kärnkraftverken blir ej större än människor. För förflyttning kommer ett flertal fötter att användas (4-6 ben). Troligen blir det en kombination av ben och hjul. Mr Hasegawa arbetar själv med kommunikationsfrågorna. Det är svårt att i 3-D-miljö instruera en robot hur den skall arbeta. Viktigt med 3-D-miljöinformation. Byggbranschens problem känner han inte till idag. Dock viktigt med en kraftfull och pålitlig mekanism. Det är också viktigt att kunna manipulera den rätt. Information ur 3-D CAD-modeller används idag för indata. Idag vet man inte riktigt vilken typ av modell som behövs.

Japan har annorlunda förutsättningar än vi med sina större städer. För att en robot skall vara lönsam, krävs att den är av "multi purpose"-typ, dvs den skall kunna utföra olika saker från ett och samma ställe. En "hemrobot" däremot måste delas upp i flera, eftersom funktionerna blir så olika. Mr Hasegawa ansåg inte att bygg är ett viktigt område och trodde inte heller på automatiska robotar för byggapplikationer, däremot att människostyrda robotar kommer i stor omfattning. Dessa kommer att fjärrstyras på ett naturligt sätt. De automatiska robotarna kommer inte att vara pålitliga inom de närmaste tio åren.

Det största problemet blir att klara av arbetet i "non-constructed environment". För detta ändamål räcker inte en enkel telemanipulator. Operatören skall ge liten men viktig information. Vad beträffar verkstadsindustrin är dess robotar utvecklade så långt att företagen med sina applikationer själva kan förädla dessa. Beträffande ASEA tyckte han, att de inte hade intresse för intelligenta robotar.

BESÖK HOS MINISTRY OF CONSTRUCTION.

Mr Isamu Gotoh, Construction Machinery Division beskrev sina projekt. Man hade just startat ett fem-årsprojekt, som kommer att kosta 500 miljoner yen. Det skall finansieras av statliga medel till 50% och av privata i övrigt. Akademiska institutioner kommer att bidra med kunskap. Målet är att utveckla hård- och mjukvara så att man kan styra datoriserade maskiner både inom husbyggnad och anläggning.



För husbyggnad är förutsättningen en fixerad och konstant grund, medan det för anläggning är en föränderlig och icke-konstant grund. En kommitté skall bildas för projektet. De stora entreprenörerna kommer också att vara representerade. Bland CAD-applikationerna finns också broar med standardsektioner. För planering används CPM ofta. Små datorer används i alla sammanhang. Robotar som finns idag är betongdistributionsroboten och den lokala sprutroboten.

Man arbetar mycket med maskiner utrustade med datorer och telekommunikation. Idag finns bl a en grävskopa som fjärrstyrs. När den råkar i fara (lutning el dyl) så stannar den. Man räknar med att en man skall kunna sköta upp till fem maskiner i framtiden. Idén kom från Ministry of Construction. Man ger enkla kommandon om horisontell eller vertikal grävning. Datorn styr sedan och summerar den totala lasten i skoporna, så att t ex lastbilarna får rätt last. Andra typer av maskiner med datorer som också utvecklas är kranar. En grävskopa med hammare kostar totalt ca 34 miljoner yen.

Mr Takoshima har hand om anläggningsidan. Han tror på en eller två riktiga robottyper om ca fem år. Anläggningsapplikationerna är svårare än husbyggnad. Positioneringen av de maskiner som man arbetar med idag är relativ den aktuella startpunkten, men man såg inget hinder för absolut positionering med radiosändare.

BESÖK HOS KAJIMA.

Först på en arbetsplats i stadsdelen Ryogohn, där man bygger Kogugikom Hall. Platschef Mr Masao Miura redogjorde för hallen, som skall användas för sumobrottning, basket, tennis m m. Den kommer att rymma 11.000 åskådare. Stålfackverk bildar en rymdram över arenan.

Därefter besök på KAJIMAs arkitektavdelning, där Mr Kohei Tanaka tog emot oss. De övriga var bl a arkitekten Kazuo Imai, som talade svenska, Mr Toyosawa och Mr Ohya.

Arkitektavdelningen består av 500 arkitekter, 200 konstruktörer, 200 installatörer, 50 inredningsarkitekter och 50 personer som arbetar med planering och utveckling. KAJIMA omsätter ca 30 miljoner SEK varav 10% utomlands, framförallt i Mellersta Asien, Ostasien och Sydostasien. 1962 öppnade man kontor i Los Angeles och New York.

Man har haft ett engelskt CAD-system i två år och producerar idag 600 A1-ritningar på fyra arbetsstationer. Under 1984 kommer man att öka antalet stationer ytterligare. De har ännu inte börjat med automatisk mängdavgivning. Idag använder de en hel del persondatorer i projekteringsprocessen. I framtiden räknar man med koppling mellan PC och CAD. De har en policy att utnyttja datorer för konstruktionsberäkningar. 3-D har man inte utnyttjat i någon större skala än.

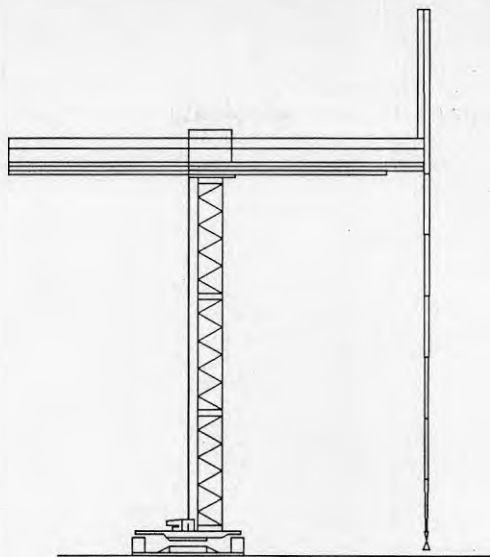
KAJIMA har ingen robotutveckling idag.

BESÖK HOS TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE OF TAKENAKA.

Mr Niina, Mr Muro och Mr Suzuki tog emot. Vi fick se det stora institutet (stort som samtliga institutioner på en högskola hemma), där runt 300 personer arbetade. Imponerande fullskalemodeller i betong, stora ljudlaboratorier, en avancerad vindtunnel och vågmaskiner var något av vad de hade. Fick företaget något uppdrag, som behövde provningar, så byggde man helt enkelt en ny modell, kanske också en ny provningshall och gjorde mätningar på modellen. Myndigheterna hade inga invändningar eller bestämmelser om detta. Om inte konstruktionen höll, förlorade ju entreprenören ansiktet och därmed framtida jobb.

Forskarna Muro och Suzuki redogjorde för vad de kallade industrirobotprojekt. Man arbetade med fem projekt för tillfället. Fyra av dessa var utvecklade och i arbete. Det femte är fortfarande i konstruktionsstadiet. Man räknade med att vara klara med det i juni 1985.

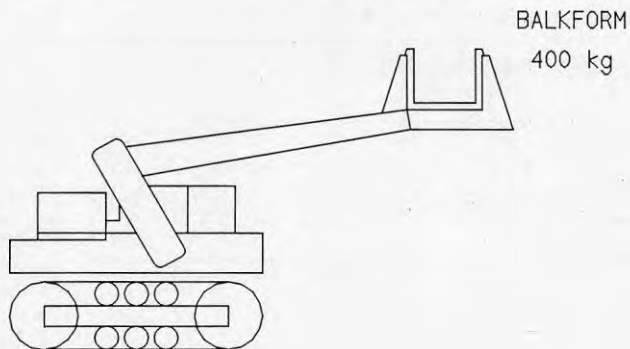
Det är ett system bestående av en 18 m hög kran, som står utan förankring. Den har en horisontell arm med 10 m utliggning på vilken en teleskoparm hänger ner. Med hjälp av ett gripdon kan den ta upp armeringsstänger (\emptyset 38 till \emptyset 51) och lyfta ut dem till rätt läge i höjd och sidled. Den används vid kärnkraftsbyggen och minskar arbetskraften från sex till tre man. Med hjälp av ett röstigenkänningsystem kan operatören styra kranen.



KRAN FÖR ARMERINGSMONTAGE

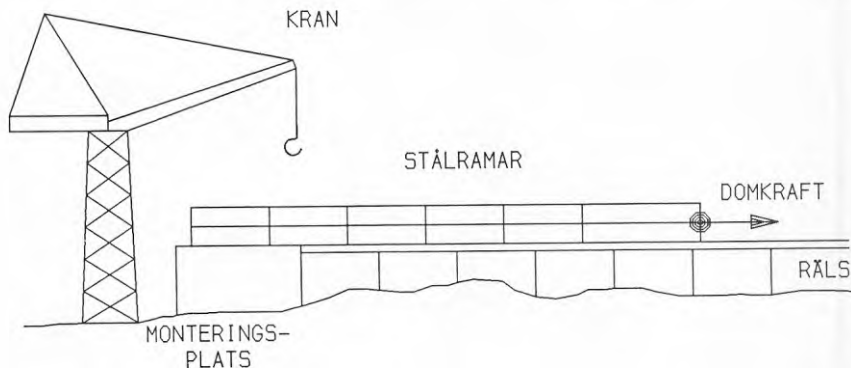
De färdiga maskinerna (robotarna) var följande:

- 1) En sammansättningsmaskin, som lyfter upp balkformar på 400 kg och håller dem på plats, i princip en traktor med lyftarmar framtill. Operatören styr den via fjärrkontroll. Den används till motorvägsbroar, där balkar skall gjutas över pelarna.

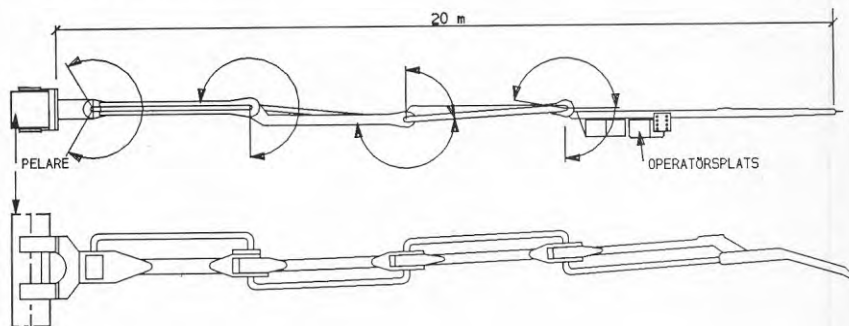


SAMMANSÄTTNINGSMASKIN
FJÄRRSTYRD

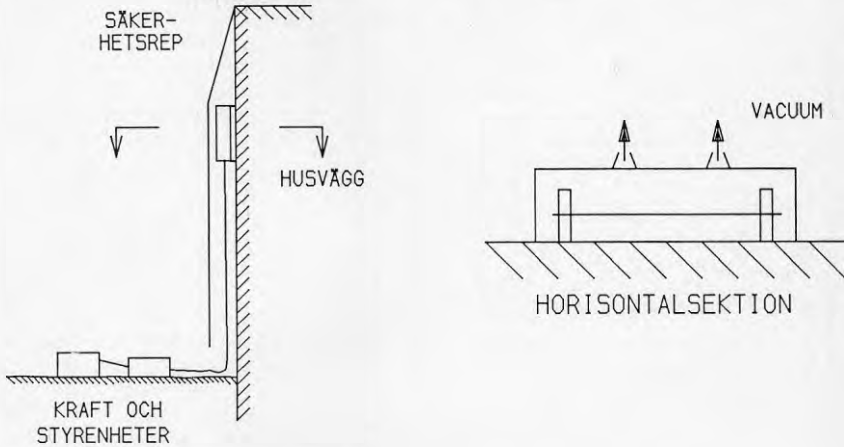
- 2) En automatisk maskin som fungerar enligt "travelling work method". I förväg byggda stålramar lyfts på plats av en kran, sätts ihop med den tidigare byggda konstruktionen, varpå alltihop dras ut med hjälp av hydrauliska domkrafter. Man slipper att arbeta på de farliga platserna, i detta fall över en järnväg som används. Man räknar med besparingar från tidigare fyra personer till en operatör och en "supervisor".



- 3) En betongfördelningsmaskin som styrs av en operatör. Består av en flerdelad arm som fästs på en pelare. I ledernas genomgående axel och växelsvis ovanför och nedanför armen pumpas betongen ut till en snabel, som för ut betongen till önskad plats. Räckvidd ca 20 m. Den klarar 50-60 m³/h och väger 3,5 ton. Ute vid snabeln hänger också två vibrostavar som kopplas loss och betjänas manuellt. Man har använt den i 1,5 år nu och har haft vissa problem tidigare. Den drivs med vanlig el. Totalt har man fyra stycken. Kostnad ca 30 miljoner yen. På frågan om man inte kunde göra maskinen lättare, med ett högre tvärsnitt, angav man betongseparation i lederna som förhindrande.



- 4) En maskin som klättrar på fasader och inspekterar fasadbeklädnader, t ex fasadtegel. Den fjärrstyrs från marken och suger sig fast med vakuüm och undersöker plattorna. Idag har man många äldre fasader, där plattorna börjar lossna. Som säkerhet vid fel finns ett rep från taket.



Detta var alltså de "robotar" som Takenaka har och utvecklar. På frågan om andra tänkbara robotapplikationer utöver de som vi skulle se under veckan, nämnde de att en armeringsböckningsrobot togs fram för tre år sedan av MITSUI "shipwork", men den visade sig för dyr och projektet lades ner.

Under den avslutande diskussionen kom bl a följande synpunkter fram: Arbetskraften blir äldre och antalet arbetare minskar, vilket ökar behovet av robotar. Manipulatorer och robotar ersätter den minskningen. Dessutom blir man av med de farliga arbetsmomenten. I Japan finns inget motstånd mot denna automatisering, vilket de förklarade med att det inte finns några fackföreningar. För att bättre utnyttja robotar i framtiden krävs att man förändrar "design"-arbetet. Alla de stora företagen arbetar med robotutveckling.

BESÖK HOS TAKENAKA

På deras internationella kontor. General Manager Maida och ytterligare en stor skara tog emot oss, bl a Fukui, Suzuki, Matsui. Vi fick se diabilder och videofilm om företaget.

Efter en kort rundvandring på konstruktions- och arkitektavdelningen stannade vi ett tag på deras dataavdelning, där vi fick se ett Tektronixbaserat CAD-system. Man hade inte så många arbetsstationer (ca 4 st), men arbetade istället mycket i tidiga skeden från vanliga terminaler och tog ut resultaten på grafiska skärmar och plotter. Som exempel kan nämnas skuggornas lägen och 3-D-studier av tillåtna gränser för byggnaden. Likaså tog man fram kostnader och energiförbrukning för de planerade objekten.

Efter denna rundvandring åkte vi med tre limousiner till arbetsplatsen i hamnen. Bygget var ett lager för Sony, som bestod av en tung betongklädd stålstomme. (33.000 m³ betong, 130.000 m² betong, 2.000 ton armering, 3.000 ton stål. Start feb 83, pålning 2 mån, gjutningarna klara feb 84). Man hade nu nått sista bjälklaget och hade planerat att använda betongdistributionsroboten vid vårt besök, men vädret under veckan innan hindrade detta. Nu fick vi istället se den röra sig över det gjutna bjälklaget.

Innan vi åkte upp på taket, fick vi en redogörelse för hur maskinen och bygget fungerade. Betongen pumpades från marken med en vanlig betongpump. Betongfördelningsmaskinen lyftes successivt allteftersom gjutetapperna klarades av. Man hade fyra positioner på varje våning. Det tar en halv dag att flytta den från pelare till pelare. För att kunna flytta den viker man ihop den till 2,5 x 5 m. Den maskin som användes på detta bygge hade en räckvidd på 23 m. Varje led kan växelvis böjas 180° åt ena hållet och 90° åt det andra. Man räknar med 50% reduktion av arbetskraften. Dessutom får man bättre kvalitet och högre säkerhet i arbetet. Operatören lär sig att styra maskinen på 15 minuter. Alla är mycket nöjda med maskinen, eftersom man slipper tunga och smutsiga arbeten. Man strävar efter att automatisera hela betonggjutningsprocessen. Det som saknas idag är utjämnning och ytbehandling.

I framtiden lär operatören ersättas av mikrodatorer, men idag är kostnaderna för detta för stora. Användningen av maskinen är idag ekonomiskt lönsam.

BESÖK HOS RESEARCH INSTITUTE OF SHIMIZU CONSTRUCTION CO.

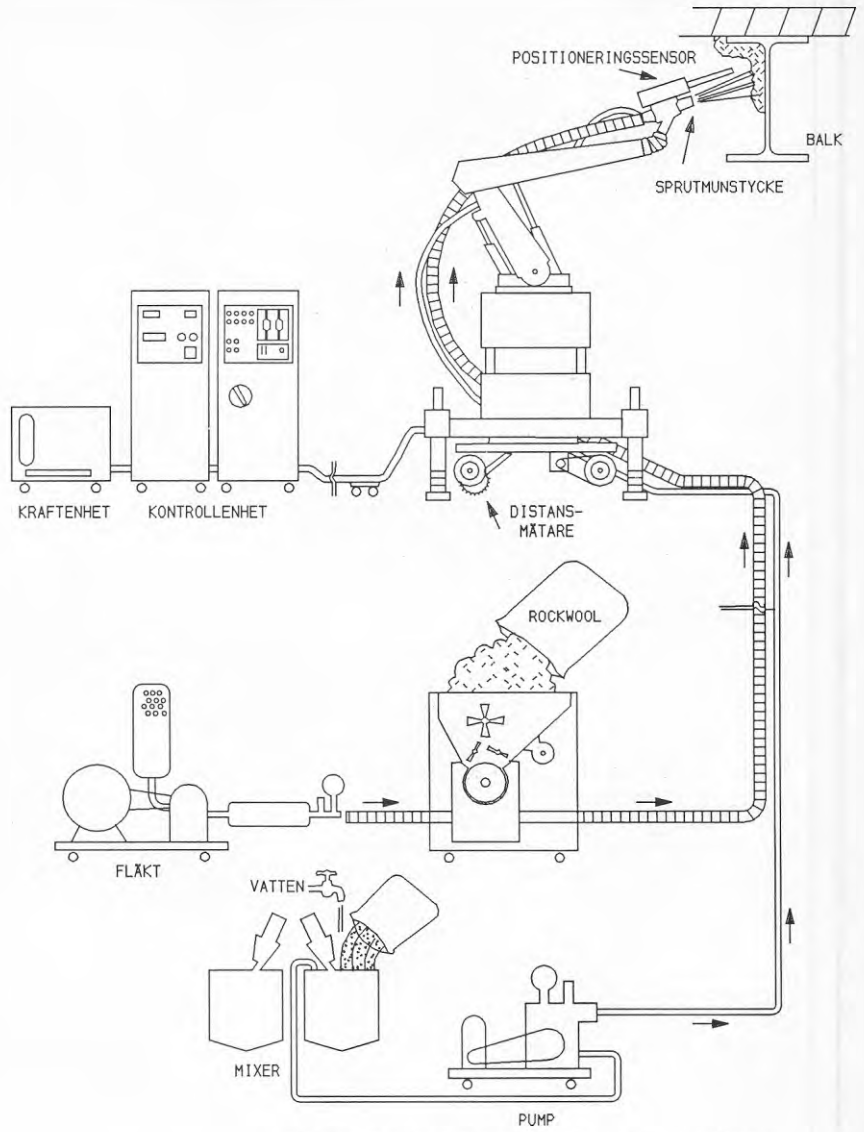
Vi togs emot av forskarna Yoshida, som har utvecklat roboten och Ueno, som har hjälpt honom.

Robotprojektet startades för att ta bort det farliga arbetet med brandskyddssprutning av stålbalkar i tak, för att förbättra effektiviteten och för att klara av bristen på arbetskraft.

Den första prototypen fick namnet SSR1 (Shimizu Site Robot 1). Den skulle hålla spraymunstycket, röra sig automatiskt, förflytta och positionera sig under besvärliga förhållanden, väga mindre än 300 kg/m² på grund av bjälklaget, vara säker för personer runt omkring och skydda robotsystemet.

Man valde Trallfa's sprutmålände robot KTR 300F. Roboten är helt plastinklädd när den arbetar. Cement pumpas från marknivå och rockwool blåses också via ledningar från annan plats. Roboten står på en transportenhet och drar med sig en kontrollenhet och en hydraulisk enhet. Den kan förflytta sig 30 m från kontrollenheten. Roboten använder play-back-teknik för sprutoperationerna. För att positionera sig har den sensorer för att känna balkarnas lägen. Vid försöken blev hastigheten nästan två gånger så hög som manuellt. Materialtransporten blev ojämn i denna version av roboten.

SSR2 utvecklades med krav på högre precision vid positionering, vridning av transportenhet, programmerad väg mellan balkarna och jämnare fördelning av materialet. Man hade besvär med att lära roboten dess schema för sprutning. För att korrigera fel i färdvägen byggde man in en korrigeringsfunktion för transportenheten. Roboten provades på 35:e och 36:e våningarna på Toshiba Building, där den sprutade 1500 m². Effektiviteten blev nästan dubbelt den manuella för sprutarbetet, några minuter tillkommer sedan för förflyttning m m. Kvaliteten på arbetet blev något bättre än det manuella. Man nådde alltså sina mål och kommer nu att förenkla användandet, förbättra effektiviteten och inlärningsmetoden (för robotens rörelseschema). Efter sprutningen måste man göra efterarbetet för hand, dvs trycka till brandisoleringen.



BRANDSKYDDSSPRUTANDE ROBOT

Idag har man endast en prototyp men räknar med att ha den i produktion omkring 1990. Den är oekonomisk idag, kostar ca hundratusen dollar. Utvecklingen för SSR1 tog ca sex manmånader och SSR2 tog ca fyra. Man har haft tre personer som arbetat med projektet. Kobe Steel kommer att sälja roboten. Shimizu skall utveckla tre typer ytterligare, men dessa är hemliga. De kommer troligen att användas för montagearbeten.

I framtiden kommer kontrollenhet, kraft och robot att finnas i en och samma enhet. Hittills har man provat roboten på fyra projekt. Driftsäkerheten anser man vara tillräcklig. Den kan endast användas inomhus, eftersom den är känslig. Däremot är den lätt att programmera och man räknar med att en arbetare skall kunna klara det. Transportenheten används även till andra saker idag, vilket kanske är nödvändigt för ett effektivt utnyttjande. Man räknar med att 3-4 stora entreprenörer kommer att utveckla robotar i framtiden. På frågan om armeringsrobotar fick jag samma svar som tidigare: Någon hade försökt med "bend and cut" men slutat på grund av kostnaderna.

Kvaliteten blir standardiserad men detta är inte tillräckligt tyckte forskarna. Systemet är framtaget för bättre arbetsmiljö och inte för den ökade produktiviteten. Räckvidden är från 1,2 m över golv till 4,0 m över och totalt 3,1 m i sidled. Vikt 1000 kg för robot, 250 kg för kontrollenhet och 250 kg för kraftenhet. Företagets första robot togs fram 1978 och var en "typical action robot" för tunnelsprutning, rörelser i en riktning plus rotation. Vi fick även se exempel på master/slav kontroll, DC servostyrning och röstkontroll. Till slut lovades vi en videokopia på deras demo-film.

BESÖK HOS NISSAN MOTOR CO

Vi blev informerade om hur anläggningen fungerar. Den är Japans näst största robotiserade fabrik. Efter genomgång guidades vi runt och fick se hallar med enbart robotar som punktsvetsade ihop karosserna. Låg sjukfrånvaro (några procent), få olyckor (mer än 25 miljoner olycksfria timmar), höga löner (upp till 17.000 per månad vid 50 års ålder) och relativt lång semester (fyra veckor för de äldre, vilka de sällan tog ut).

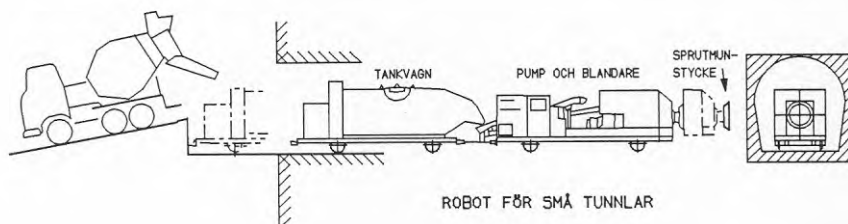
BESÖK HOS TAISEI CORPORATION

Mr Senoh på Public Relation Division tog emot.

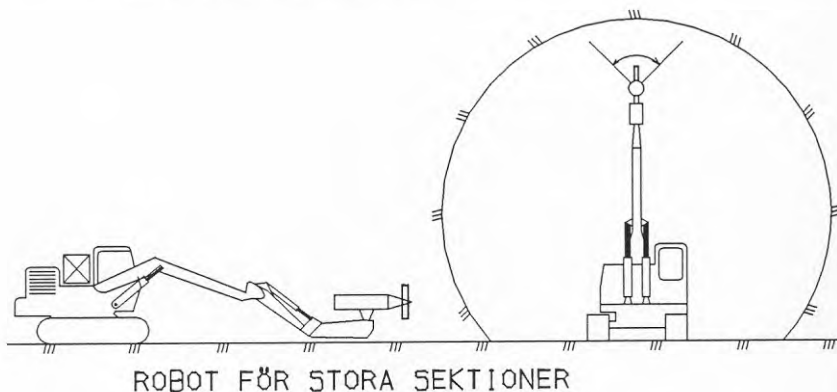
Man har inriktat sig på robotar inom husbyggnation och anläggning. På husbyggnadssidan blir man klara i april med en robot för inspektion och underhåll av ytterväggar. På anläggningssidan skall man starta utveckling av tre typer i april 84. De skall användas till geologisk undersökning, automatisk formsättning och "shieldingworks" (en stål-cylinder trycks fram i jord samtidigt som den sätter form).

Utöver dessa "robot"-tillämpningar satsar man på automatisering inom många områden, framförallt för tunnelarbeten.

- För tunnlar med mindre sektion har man en maskin som dras långsamt på räls samtidigt som den roterar och sprutar bergväggen med sprutbetong. Sektorn kan begränsas så att man inte sprutar på golvet. Till denna och även andra sprutande maskiner (och t o m vanlig betonggjutning) använder man en specialblandad betong där blandningen av sand, cement och vatten sker i flera etapper. Man erhåller en betong som avger betydligt mindre damm än normalt, vilket är en förutsättning för att metoden skall vara användbar. Betongen kallas SEC och anges som "bloodless concrete". Den är lätt pumpbar även över långa sträckor. Mitsubishi är agent för metoden i Europa.



- För tunnlar med stor sektion använder man ett specialmunstycke som monteras på vilken maskin som helst. Den fästes på maskinarm och horisenteras automatiskt, varefter den går fram och tillbaks samtidigt med en rotation inom en begränsad vinkel. Den sprutar hela tiden vinkelrätt mot bergväggen.



Automatiken i den roterande "roboten" är begränsad. För att få rätt tjocklek krävs "remote control" av en operatör. Den andra typen av sprutmunstycke har automatik i sina rörelser när maskinarmen väl är på plats. Sedan är det operatörens sak att flytta till en ny position. Antalet arbetare minskar från två till en och dessutom får man en bättre arbetsmiljö. Produktiviteten ökar också.

På frågan om man hade någon robot för ytbehandling av betong, svarade man att ett litet företag hade tagit fram sådana. (Broschyrerna som vi fick senare visade vanliga glättningsmaskiner).

I ett kommande projekt planerar man att sätta en robot i en bulldozer för undervattensjobb.

Man har en omsättning på ca 10% utomlands. Som alla andra stora japan-ska byggare har man ett eget forskningsinstitut med runt 200 anställda.

BESÖK HOS CHEMICAL GROUTING CO

På arbetsplatsen i en förort togs vi emot av Mr Hiroaki Kubo, som varit i Sverige vid provningar i Knivsta.

Bygget var en underentreprenad åt Kajima som skall bygga en tunnelbanestation. Jetpålarna utförs helt och hållet från marknivå, vilket har inneburit stämning och en stålbjälklagskonstruktion över den stora gropen. Efter en demonstration av utrustningen åkte vi tunnelbana till deras huvudkontor, som ligger intill Kajimas. Där tog VD Mr Mitsuhiro Shibasaki emot oss och vi fick se några videofilmer om jetgrouting.

CONFERENCE ON ROBOTICS IN CONSTRUCTION

CARNEGIE-MELLON UNIVERSITY JUNE 17-20, 1984.

Introduktion av professor Dwight A. Sangrey, professor och dekanus för väg- och vattenbyggnad. Arbetar också på "Robotics Institute".

Det senaste året har fler och fler börjat intressera sig för robotar i byggbranschen. Samtidigt har artiklar skrivits om tillämpningar i Japan, Europa och USA. För fyra år sedan startade robotinstitutet vid avdelning för "construction robotics". För ett år sedan fick de NSF (National Science foundation) att bli intresserade. Det är NSF och Robotinstitutet på CMU, som är sponsorer för konferensen. Deltagare är 30 amerikanska byggare, 10 forskare, 10 myndighetsrepresentanter, 10 tillverkare och 18 utländska representanter för företag eller skolor med erfarenhet av robotprojekt.

Angel Jordan startade "Robotics Institute", där förutom teknik även psykologi och management är representerade. Institutet omsätter 7 milj dollar per år. Det har 50 anställda och ca 50 lärare som medlemmar, vilka också är handledare för de studenter som arbetar på "Robotics Institute". Man tycker, att det är bra att ett lågteknologiskt område som "civil engineering" går in i robotåldern.

**Avdelning 1 Principer för sensorer och rörelsekontroll
tillämpade på "Construction Robotics"**

JAMES L CROWLEY - "DYNAMIC WORLD MODELLING AND NAVIGATION FOR AN INTELLIGENT MOBILE PLATFORM"

Arbetar med IMP (Intelligent Mobile Platform), som skall vara mobil inne i ett hus och kanske också på en arbetsplats. Tänkbara tillämpningar är bl a bevakning i hus och skrotning av tak i gruvor.

Utveckling

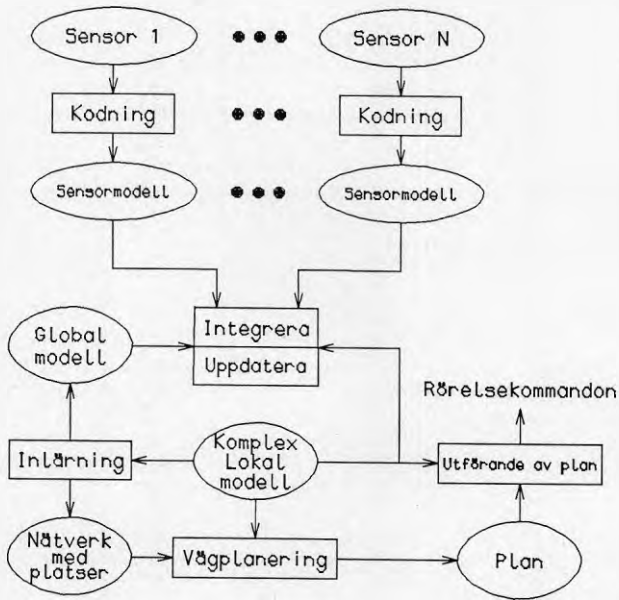
- | | |
|-----------------------|---|
| 1. Teach and repeat | - Helt intolerant mot förändringar i omgivningen. |
| 2. Programmerbar | - Förutsätter stringent omgivning. |
| 3. Uppgiftsorienterad | - Programmeras genom att ange mål. Fungerar i moderat stringent omgivning |

Mottagning

Underhåll av en inre modell av den yttre omgivningen. (Dynamisk modellering).

Uppgiftsorienterad navigering

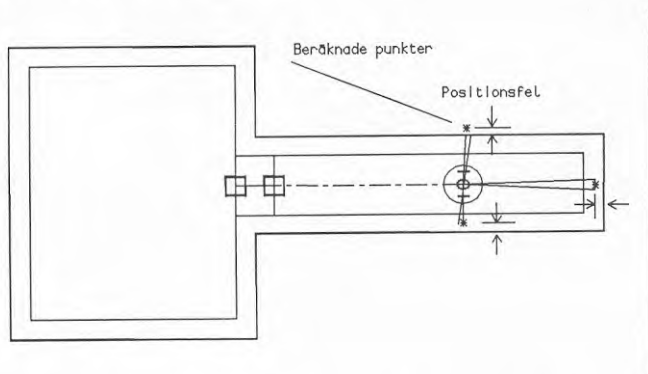
Systemet får ett mål, planerar en väg till målet och utför planen. Planen ändras dynamiskt som svar på förändringar i omgivningen. Dynamisk modellering är nödvändig.



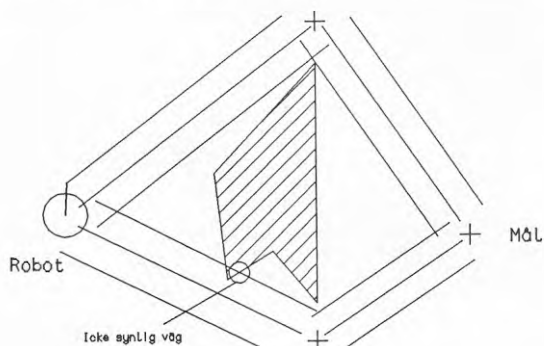
Med hjälp av flera sensorer jämförs fel (blänk etc) och datorn får en klar bild av omvärlden. Därefter hämtas en förväntad lokal modell, som jämförs med den aktuella.

För att lära sig hur omvärlden ser ut, drar man runt IMP medan sensorerna registrerar all information. (I framtiden skall man ha en "följa efter"-mod för inläring). Plattformen kan inte gå i trappor. Den är stor som en stol och har ett roterande ekolod upptill. Noggrannheten är 3 cm för upplösningen och maxavståndet är satt till 7 m. På drivhjulen sitter distansmätare, som fungerar bra så länge de inte slirar. Nyligen har man tagit fram en krage med 24 sändare. I plattformen finns enkelkortsdatorer baserade på Motorola 68000 eller 6800. De styr motor, ekolodsystem och navigationssystem. Med hjälp av infraseror räknar man med att eliminera problemet med människor inom arbetsområdet.

När plattformen skall röra sig till ett nytt mål, beräknar den en rät linje till målet. Den kontrollerar sedan att linjen är fri i den lokala "composit"-modellen, eftersom ekolod-modellen inte är lika ren. Avdriften är mindre än 5% och beror på ytan, hjulen och storleken på roboten. Med hjälp av distansmätarna beräknas en preliminär position, som korrigeras med hjälp av en felvektor.



Utomhus lär man IMP att röra sig på "legal highways" som man tidigare har definierat vid inläringen. Om IMP finner ett hinder på vägen, väljer den den kortaste vägen runt.



Hastigheten är ca 2 fot/s och begränsas av ekolodsavsänkning. Med ökat antal ekolod får man problem med hanteringen av all information. Synförmåga dröjer kanske upp till fem år, eftersom detta kräver speciell hårdvara för den abstrakta beskrivningen av bilden.

CMU kommer inom den närmaste framtiden att utveckla dynamisk modellering med hjälp av en ekolodskrage. Man kommer också att visa navigering av utomhusfordon försett med ekolodskrage.

Med hjälp av sponsorer tar man fram en säkerhetsrobot åt Denning. Klar i början av 1985. Tillsammans med MMC kommer man att sälja IMP teknologi i slutet av 1985.

MELVIN W SIEGE - "SENSORS FOR AUTOMATED CONSTRUCTION"

Synförmåga tar mycket kraft. Idag finns sensorer för alla ändamål, men de är dyra. På laboratoriet för intelligenta sensorer arbetar man på fyra nivåer. Följande fyra exempel visar detta:

1. Solid State Chemical Sensors

På denna nivå arbetar man direkt med hur sensorerna verkar rent fysiskt. De skall klara svåra miljöer.

2. Colorimetric Navigation

På denna nivå arbetar man med att paketera sensorerna för att få ett antal av dem att med sina olika egenskaper tillsammans finna ett visst mönster. Alla färger påverkar sensorerna olika och dessa samband håller datorn reda på.

3. Tactile Sensing for Robot Control

Denna nivå kräver datorarkitektur. Sensorer och dator måste samarbeta, eftersom signalerna från sensorerna innebär att en rörelse måste ändras. En kombination med synförmåga kan förväntas, eftersom man först ser något innan man rör vid det.

4. Fermentation: Robot Process Control Testbed

Detta är ett exempel på den högsta nivån, där systemkontroll kommer in. Ett stort antal sensorer avger information, som systemet skall utvärdera och sedan reagera på. Interfacen skall klara av att byta sensorer.

Med hjälp av sensorer kommer man att kunna inspektera och besiktiga byggnader. Kommer detta att godkännas av myndigheterna?

På en arbetsplats kan man ha aktiva eller passiva markeringar, streckkoder på balkar, sändare i golvet, trådar, tape, färg, lasers osv. Det finns idag robotar, som delar ut post på kontor och hittar rätt med hjälp av streckkoder vid varje dörr. Lösningen på de flesta problem är sensorer.

WILLIAM L WHITTAKER - "ROBOTICS IN HAZARDOUS ENVIRONMENTS"

Löst kopplade system utför varierande moment. Hårt kopplade system utför samma moment hela tiden. Utvecklingen kommer att gå från robotar för farliga tillämpningar till robotar för byggapplikationer. Till en början kommer de att vara "lineära" och hårt kopplade för att förenkla introduktionen.

Tillämpningar i farliga miljöer

Rymd	Rymdskyttelarm Rovers (Mobila robotar) Rymdbyggande
Militär	Minfältsröjning Hantering av ammunition i stridsvagnar Självstyrande fordon (Forskning för 600 M dollar under 4 år, bl a en sexbent robot, som klarar 5 miles/h och styrs med hjälp av infraröd kamera. Första testen blir i september i Ohio).
Kärnkraft	Heta celler Laddning och tömning av bränsle Upparbetning av bränsle Underhåll, reparation Återställande efter olyckor (Vid Three Miles Islands har CMU en robot med 6 hjul som styrs med telekommunikation)
Under vatten	Exploatering Räddning Byggnation Borrning och gruvdrift
Under jord	Automatisk takförankring Sköldtunneldrivning

På CMU arbetar man med robotar, som skall gräva upp gasledningar, eftersom explosionsrisken är stor.

Med hjälp av en laboratorierobot (för studier), som man har kopplat till en mikrodator (IBM PC) staplar man tegelstenar, så att de bildar väggar med godtyckliga mönster och öppningar. Informationen hämtas från enkla CAD-ritningar. Enligt uppgift kostar stenen 3 kr och arbetet att placera den 16 kr, vilket borde göra en automatisering intressant.

Under efterföljande diskussion framkom att Bechtel inte vill utveckla robotar så länge det inte är ekonomiskt lönsamt. Fackförening och aktieägare skulle förhindra sådant. Beställaren vill inte betala mer för robotarbete. Whittaker anser att japanerna är här för att lära och etablera sig (på högskolor och i företag). Idag finns möjligheterna för de riktiga ledarna och formgivarna att åstadkomma något stort.

ALLMÄN DISKUSSION UNDER LEDNING AV DWIGHT A SANGREY

- Några motiv till robotisering
 - Farliga miljöer
 - Övermänniskliga uppgifter (t ex rörinspektion)
 - Produktivitet
 - Kvalitet
 - Integrera processen
- Streckkoder på material m m borde användas i byggbranschen.
- Man behöver kanske inte ha en riktig robot, även en automatisk maskin räcker långt.
- ASCE har inte tagit upp robotämnet än.
- Auditoriet efterlyste en organisation, som håller i robotutvecklingen.
- Viktigt att kommunikationen fungerar så att man kan föra över erfarenhet från Japan, Finland och Sverige. Dessutom måste pay-off studeras.
- Byggbranschen är så omfattande att man inte generellt kan hitta en enda lösning, som passar för alla.
- Redan under konstruktionsstadiet måste man ta hänsyn till robotar.

ABRAHAM WARSZAWSKI - "APPLICATION OF ROBOTICS TO BUILDING CONSTRUCTION"

Det totala antalet robotar i USA ökar mycket snabbt, men i byggbranschen finns det inga, vilka beror på många faktorer.

Totalt inom byggbranschen i USA omsätts 230 miljoner dollar och det finns 6 miljoner anställda. Produktiviteten har sjunkit med 1.5% per år, att jämföra med snittet som är plus 0.9%. En liten förbättring i effektivitet skulle ge stora vinster. Byggbranschen är mycket arbetskraftsintensiv och skulle man robotisera den, behövs det 100.000 robotar i USA. Inom tillverkningsindustrin saknar 90-95% av robotarna sensorer, vilket är nästan omöjligt i byggbranschen. De flesta maskinerna på en arbetsplats kan jämföras med robotornas funktion, t ex så liknar en tornkran en cylindrisk robot.

I Japan har alla robotar introducerats för "one case"-applikationer.

Idag finns följande tillämpningar i byggbranschen:

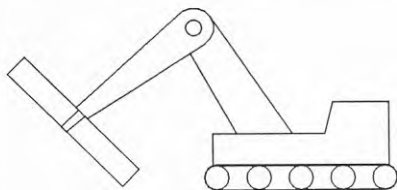
- Betongsprutning	Japan
- Tunneldrivning	"
- Betongutfördelning	"
- Brandskyddssprutning	"
- Borrning	"
- Fasadinspektion	"
- Inspektion av farlig miljö	USA
- Armeringskartläggning	" under utveckling
- Utgrävning	" "

För husbyggnation behövs tre typer av aktiviteter:

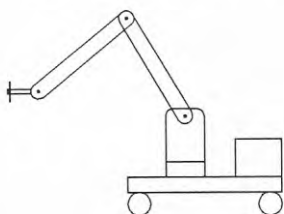
- Bearbetning och täckning av kontinuerliga ytor.
(Sprutning, slipning, putsning m m - lätt att robotisera).
- Förflyttning av verktyg i bestämda mönster.
(Svetsning, tapetsering m m - möjligt att robotisera).
- Sammansättning av komponenter.
(Stålbalkar, prefabelement, tegel, form m m - svårt att robotisera).

Man kan tänka sig fyra typer av robotar på en byggarbetsplats:

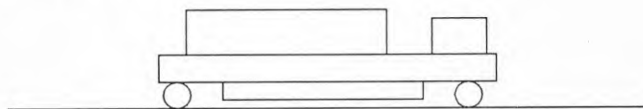
- Sammansättningsrobot - ledad, kranliknande, räckvidd 20-25 m, teleopererad. Precision vid placering kräver sensorer.



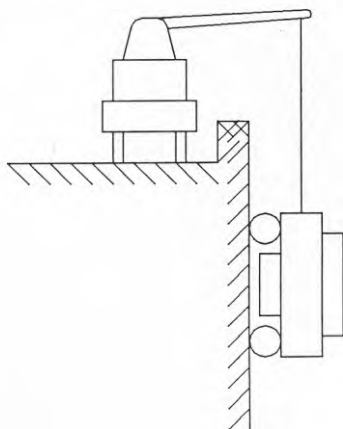
- Generell robot - ledad, klassisk robot, räckvidd 2-2.5 m runt och 3 m i höjd, arbetar på ett ställe och flyttas sedan, tänkbart med manuell flyttning, kan arbeta med ca 20 kg tunga verktyg.



- Horisontell ytbehandlingsrobot - rör sig rektangulärt på plan yta, verktyg placerade under.



- Vertikal ytbehandlingsrobot - arbetar på fasaden.



För att underlätta montage med robotar måste följande åtgärder vidtagas:

- Minimera antalet komponenter (prefab).
- Förenkla anslutningarna.
- Bygg in fixturer för att gripa, känna och orientera.
- Utformningen skall eliminera temporära stöd.

För ytbehandling bör följande beaktas:

- Välj så homogena jobb som möjligt. Spruta, håll etc.
- Alla moment görs färdiga från en station.
- Lätt att nå alla arbetsplatser.

För att underlätta robotisering kan man tänka sig ett biblioteksystem med ett antal standardiserade elementtyper. Dessa kan kombineras i en mängd varianter. CAD och robotar passar bra i sådana system. Larsen/Nilsson i Danmark har ett biblioteksystem.

Diskussion

- Idag finns tekniken, men ekonomiska och organisatoriska problem bromsar robotiseringen.
- Ett framåt företag måste standardisera sin arbetsmiljö för bästa effekt.
- Idag kostar en robot 700.000-1.500.000 kr och resterande utrustning för rörelse går på lika mycket. Priserna kommer att sjunka på datorer och styrsystem.
- Idag anpassar man material, t ex tegelstenar, till människans styrka. En robot kan ta tyngre enheter!

TETSUJI YOSHIDA - "DEVELOPMENT OF SPRAY ROBOT FOR FIREPROOF COVER WORK"

Första roboten SSR-1 togs i bruk i november 82. SSR-2 tog därefter ett halvår att utveckla. Den generella roboten Trallfa är norsk. Roboten rör sig 3.1 m mellan stoppen och det tar ca 10 s. Den kan endast spruta en sida från en given station. All utrustning är dammskyddad. Avståndet till balkarna mäts med en potentiometer. Roboten används nu på tre arbetsplatser per år. Snart kommer man att minska kontrollenheten, så att den blir ca 1 m hög. Den kommer från USA.

Roboten används i höghusbyggen i Tokyo. Det tar tre dagar för roboten att klara en sektion och det finns fyra per våning. En stor fördel är att man slipper ställningar. I övrigt framgår funktion och användning av roboten av rapporten från besöket i Japan och av Shimizus rapport. (Se bilaga 5)

För utvecklingen av SSR-1 och 2 har man inte fått något stöd från robotindustrin. Anledningen till att man har satsat på robotar är den hårda konkurrensen i Japan. Shimizu är inte beredd att sälja systemet till andra.

THOMAS GATTON - "ROBOTIC ASSEMBLY FOR MOBILIZATION CONSTRUCTION
(USA-CERL)"

US Army Construction Engineering Research Laboratory (USA-CERL) undersöker möjligheterna att använda robotar som hjälp vid snabb uppbyggnad av ett stort antal trähus vid mobilisering. De första studierna indikerar en potential för universella CAD/CAM rambyggnadssystem.

För närvarande har man planer på att konstruera och utveckla en portabel robotfabrik för snabb produktion av byggnadskomponenter. USA-CERL har fått 500.000 dollar från staten för en 5-årsperiod. Detta räcker endast till en förstudie för en man, så nu hoppas man på ytterligare stöd.

I diskussionen som följde hade Bechtel följande synpunkter:

- Endast klara ekonomiska satsningar görs. Det är farligt med felsatsningar, eftersom det tar lång tid (10 år) innan de är färdigutvecklade och lönsamma. Den splittrade ansvarsbilden hindrar också satsningar. (Ägare med rådgivare, konstruktörer, byggare, underentreprenörer, fack, myndigheter). 1950 skapades Bechtels avdelning för forskning och ingenjörskonst. Den består av 400 personer idag.
- Det investeras alldeles för litet i forskning och utveckling i byggnadsbranschen.
- Myndigheterna stödjer möjligen teknisk utveckling, men inte enskilda företag.
- För några år sedan gjordes en branschgemensam satsning med Business Round Table för att hitta gemensamma utvecklingsområden. Endast 2 av 12 kommitteer har kommit fram med något nytt och robotar finns överhuvudtaget inte med.

Avdelning 4

Robotar i "Heavy construction"

BOYD C PAULSON JR - "AUTOMATED CONTROL AND ROBOTICS FOR HEAVY
CONSTRUCTION"

Vid Stanford har man sedan länge använt videokameror för att filma aktiviteter på arbetsplatserna. Med hjälp av filmerna har man sedan gjort tidsstudier. Nu kopplar man ihop video och dator för att analysera förloppen.

I Californien och då speciellt i Silicon Valley används många typer av automatiskt styrda maskiner. Man använder laser för att styra väghyvlar i höjddled på stora ytor. Tack vare den högre farten har man sparat 5-10 ggr mot tidigare metoder. Med dikesgravare har man automatiskt klarat grävning och iläggning av rör med stor precision.

Människan kommer länge att vara med som övervakare även på automatiska maskiner. Vid t ex grundläggning kan man successivt under arbetet ta hänsyn till jordens egenskaper och optimera spont och förankringar. Vid ett bygge i Tokyo användes 500 mätpunkter. Vid Stanford tränar man teknologer inom Civil Engineering att bygga egna kort och koppla ihop dessa med sensorer och mekanik. Kanske skall man i framtiden ta bort blåkopior och istället bygga 3-D-modeller och databaser. Idag har man för kort sikt, man måste ha visioner.

TETSUSHI SONODA - "TUNNELING BY ROBOTS. SHIELD DRIVING AUTOMATIC CONTROL SYSTEM"

HAZAMA-GUMI bygger cirkulärtunnlar för ca 100 milj dollar per år. Diametern varierar mellan 1 och 8 m idag. Man räknar med att klara 10 m. Maskinen kostar 3-4 milj dollar. Med hjälp av datorer på marken, som står i förbindelse med tunnlar via optiska kablar, styrs fronten på maskinen. Den planerade vägen finns i datorn och den jämförs med mätvärden från en lasermätare i den färdiga tunneln, som mäter mot fronten av tunneln.

Korrigeringar för att komma rätt igen görs, så att domkrafterna i fronten trycker skärhuvudet i rätt riktning. Detta görs av datorn, men än så länge gör man också kontroller manuellt, innan åtgärderna vidtas. Systemet är alltså helt självgående.

VÄINO TARANDI - "A PRE-STUDY OF ROBOTICS IN CONSTRUCTION"

Jag redogjorde för vår studie i form av en sammanfattning. Man trodde allmänt att vi i Sverige hade kommit litet längre men tyckte att det i alla fall var positivt att det fanns något organ (BFR), som var berett att stödja framtidsprojekt. Den ledande roboten från Spine-Robotics visade man också intresse för. Alla tyckte att vårt förslag om pilotprojekt med slipning och målning var bra, eftersom det var realistiskt att genomföra. På det sättet kan utvecklingen av robotar komma igång i byggbranschen för att senare leda fram till mer komplicerade tillämpningar.

MARC RAIBERT - "MACHINES THAT WALK"

Genom att studera hopprörelser, typ känguruhopp och hopp med hoppstylta, har man funnit att ben skall vara fjädrande. Man har också kommit fram till de relativt enkla algoritmer, som kontrollerar en hoppmaskin. Först tog man fram en 2-D-maskin och nu har man även en 3-D-maskin, som hoppar med ett ben. Den styrs av en stor minidator, VAX 780, men man räknar med att ett 68000 kort skall klara beräkningarna.

Nu skall man bygga maskiner med fyra ben, som skall samordnas för alla typer av rörelser. Vid Ohio State University arbetar man med en sexbent maskin.

Diskussion

- Databasinsamling och kontroll kan förbättras. Då snabbar man upp och förbättrar maskinen.
- Kanske är det bättre att flytta roboten manuellt?

 DANIEL R REHAK & STEVEN J FENVES - "ROLE OF EXPERT SYSTEMS IN CONSTRUCTION ROBOTICS"

Daniel R Rehak

Expertsystemen kom för tio år sedan och kunskapsbaserade expertsystem (KBES) blev populära för fem år sedan. De kommer nu inom alla områden

Man kan enbart ha en experts kunskap i systemet, annars uppstår konflikter. Det tar 1-2 år att bygga ett system och kostnaden blir uppemot 10 milj. dollar. Genom att fånga en experts kunskap om problemlösning kan expertsystem lösa problem, som hittills har undgått datorisering.

Inom byggbranschen finns en mängd tänkbara tillämpningar och den kommande robotiseringen kommer att skapa ett behov av ännu fler. För att skapa intelligenta robotar, som klarar den variation av uppgifter och omgivning, som karaktäriserar en byggarbetsplats, krävs expertsystem.

Tänkbara tillämpningar i byggbranschen är t ex:

- att förutsäga översvämning av arbetsplatsen med regnmängden som indata.
- att förutsäga borrhbyte på grund av ändrat ljud vid borring.

I andra sammanhang finns system för att diagnosticera sjukdomar, producera datorer (DEC) m m.

Steven J Fenves

Japanerna har följande klassificering av robotar:

M1	Manual Control
M2-A	Fixed Sequence
M2-B	Variable Sequence
M3-A	Playback Control
M3-B	NC Control
M4	Intelligent Robots

Man räknar med att M4 kommer att utvecklas under 1990-talet och att de kommer att användas först efter år 2000. Dessa robotar kräver expertsystem.

CMU utvecklar en robot för att gräva fram gasledningar. Den har ett antal sensorer och kommer att behöva någon sorts expertsystem för att klara ex vis motsägelser mellan sensorerna eller mellan befintliga ritningar och sensormodellen. Om ritningens och sensorernas uppgifter inte stämmer, när den letar efter rör, gäller troligen sensorernas uppgifter. En expert vet ju att människor lägger ut rör med en viss avvikelse från det planerade läget. Geoteknik är ett typiskt område för expertsystem, där många tidsödande labtester kan utgå, om man använder maskinens mätvärden.

Under diskussionen framfördes att även med enbart 10% av nödvändig information bör expertsystemen klara av att ge svar. Icke komplett och motsägelsefull information kan räcka för en erfaren expert med intuition.

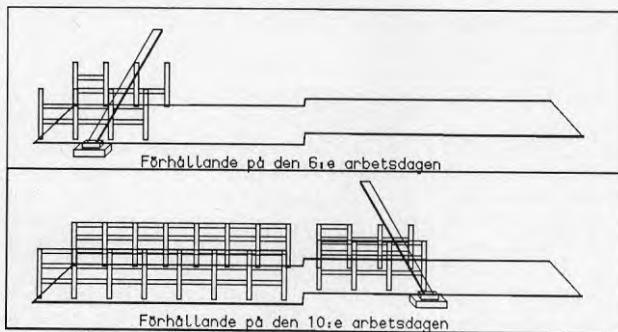
NARUO KANO - "A NEW MANAGEMENT TOOL FOR ROBOTIZED CONSTRUCTION PROJECTS - APPLICATION OF COMPUTER GRAPHICS IN CONSTRUCTION PLANNING AND SCHEDULING"

Vid Waseda University i Tokyo har man utfört ett projekt, där man med en mikrodator försedd med grafik har studerat planering av robotiserade byggnadsprojekt.

För planering används följande faktorer:

1. Resurser
2. Aktiviteter
3. Byggnadselement
4. Utrymme

Utrymmet är viktigt, eftersom robotar kräver mycket plats. Speciellt måste eventuella konflikter mellan flera robotar studeras. Med systemet tar man fram trådmodeller i 3-D för olika tidpunkter.



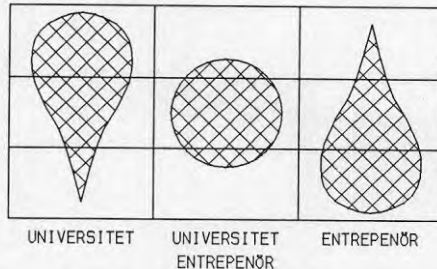
Construction Managers kan då studera, planera och optimera projektet. Samarbetet mellan universitetet och entreprenörerna kan åskådliggöras enligt nedanstående figur.

PROJEKT

5-10 ÅR
FRAMÅT

3-5 ÅR
FRAMÅT

0-3 ÅR
FRAMÅT



SATSNINGAR PÅ UTVECKLING

I diskussionen framfördes att man var imponerade att se 3-D-bilder av framåtskridandet och ansåg det vara ett fantastiskt verktyg för att planera projekt och testa olika metoder.

SAMMANFATTNING AV KONFERENSEN - DWIGHT A SANGREY

FRÅGESTÄLLNINGAR

Scenario utveckling	Robotar i byggbranschen. Från CAD till expertsystem till robotar till maskiner.
Tvärvetenskap	Man får inte enbart se problemet från vår sida, även mekanik och elektronik måste vara med. Vi måste också lära data från grunden.
Erfarenhet	Luckade försök även om de är blygsamma i vissa fall. Likartade erfarenheter på många håll. Av de tio största företagen i Japan hade åtta personal som arbetade med robotar. De betalar idag för vinst imorgon.
Kommunikation	Det är väldigt få av dem som sysslar med robotämnet, som har träffats tidigare.
Motiv	Förbättrad kvalitet och tillförlitlighet. Hazards. Övermänskliga uppgifter under jord, i rör, under havet, i rymden. Önskad arbeten. Nya byggnadssätt. Önskan att bli först.

IDEER

Teknologi	Idag finns allt som behövs, mikroprocessorer, sensorer, rörelsemöjligheter, navigationsmöjligheter. Syn utvecklas, men är inte nödvändigt idag. Artificiell intelligens (expertsystem) är viktigt för robotar inom bygg. Byggbranschen behöver inte komma på efterkälken i "High-Tech"-framtid, även vi vill använda detta.
Nya metoder	Utveckling kontra revolution. Använd befintliga verktyg och förse dem med ny teknik, t ex laserstyrd vägskrapa. Den revolutionära utvecklingen kommer troligen inom rymd, under vatten etc, där man inte arbetar idag.
Människans medverkan	Troligen kommer människan att vara med som övervakare, även om roboten är helt självgående.

IMPLEMENTERING

Lokal nivå	Företag som vill börja med robotar bör göra följande: <ul style="list-style-type: none"> - Lära de nya färdigheterna - Acceptera det tvärvetenskapliga, som kräver kunskap inom elektronik m m. - Ha känsla för det nya och se till att inte komma på efterkälken - Hitta eget motiv för robotinstallation
Förevisning	Gör förevisningar på rätt sätt, så att alla får del av erfarenheten inom robotområdet. Använd statliga medel.
Knyt ihop	Behåll initiativet. Dwight Sangrey visste inte före konferensen att CMU var så långt framme på så många områden. De är faktiskt ledande. Uppmuntra samarbete mellan den privata sektorn och universiteten. Håll kontakt med andra grupper som myndigheter, tänkbara användare och andra robotgrupper.

DISKUSSION

- De icke-tekniska hindren är svårast att klara.
- Robotgrupperna är inte medvetna om varandras arbete. Det är OK med dubbelarbete vid utbildning av 1000-tals studenter varje år, men FoU måste samordnas.
- Starta något projekt som någorlunda kan klaras ekonomiskt.
- Sätt en pålitlig robot på en arbetsplats och se vad arbetarna kan komma på själva, när de ser möjligheterna.

AVSLUTNING

Sammanställning av konferensen kommer i slutet av augusti. Nytt möte om ett år och även då på CMU. De är också beredda att vara i "Newsletter" med aktuell information.

Namn på konferensen: "Forum for Robotics in Construction".

BILAGA 4

SammanfattningROBOTS IN INDUSTRY

by Richard U. Miller

1982 finns ca 5000 industrirobotar i USA av ett flertal anledningar:

- Minskad arbetskraftskostnad.
- Ökad effektivitet.
- Eliminering av farliga och otrevliga arbeten.
- Höjd kvalitet.
- Ökad tillverkningsflexibilitet.
- Minskat materialspill.
- Minskad arbetskraftsomsättning.
- Lägre kapitalkostnader.

Definition av industrirobot enligt "The Robot Institute of America":

En omprogrammerbar flerfunktionsmanipulator gjord för att flytta material, delar, verktyg, eller specialiserad utrustning genom varierbara programmerade rörelser för att utföra olika uppgifter.

"The Japan Industrial Robot Association" (JIRA) har en bredare definition:

En allsidig maskin utrustad med en minnesenhet och en terminal; kapabel att rotera och att ersätta mänskligt arbete genom automatiskt genomförda rörelser.

JIRA klassificerar robotar enligt följande:

1. Manuell manipulator - styrs av operatör.
2. Fastlåst arbetsordning - repeterar ett givet rörelsemönster, som är svårt att ändra.
3. Variabel arbetsordning - repeterar ett givet rörelsemönster, som lätt kan ändras.

4. Playback - utför, från minnet, operationer som ursprungligen har utförts under mänsklig kontroll.
5. NC (Numeric Control) - utför operationer styrda av numeriska data från tape m m.
6. Intelligent - har sensorer (visuell känsel) och kan rätta operationerna därefter.

I USA räknas 3, 4, 5 och 6 som robotar.

1981 fanns ca 14.000 robotar i Japan,
ca 4.100 i USA,
ca 3.000 i Sovjet,
ca 2.300 i Västtyskland,
ca 1.000 i Frankrike,
ca 600 i Sverige och
ca 500 i Storbritannien.

Detta enligt amerikanska källor. I USA utgör svetsrobotarna den största delen följda av gjutrobotar och lastningsrobotar.

Man förutspår en snabb ökning av kopplingar mellan robotar och CAD/CAM-system. 1985 räknar man med att metallgjuterierna har 5 % av sina robotar integrerade med CAD/CAM och att elektronikindustrin har 25 %. 1990 räknar man med 10 % resp 30 %.

Kort sammanfattning avROBOTIZATION OF REINFORCED CONCRETE BUILDING CONSTRUCTION

by Yuhio Hasegawa

1. Problem i betongbyggnation

Arbetskraftskostnaden har mellan 1963 och 1978 stigit mer än fem gånger, utan att produktiviteten har ökat. Inom bl a bil- och elektronikindustrin har däremot produktiviteten ökat oerhört, vilket har medfört oförändrade kostnader.

Statistik för formbyggnadsfirmor (53 st med 7000 anställda) över skador från 1980 visar, att dessa är mycket högre än inom verkstadsindustrin. Av ovan nämnda skäl bör man robotisera arbetet.

2. Metodik för introduktion av industrirobotar i betongbyggnation

Orsaker till att robotar inte har införts:

- Varje byggnad är unik.
- Ingen "feed back" av information från produktion till projektering.
- Nya platser varje gång.
- På grund av många nivåer av underentreprenörer vill inte generalentreprenörerna utveckla nya metoder, eftersom dessa då direkt kommer konkurrenterna till del.
- Inget intresse för arbetskraftsbesparingar. Man tror att det är omöjligt.
- På grund av trånga utrymmen tror många att robotar inte får plats.

Undersökningen utfördes bl a enligt följande:

- Dagsläge och problem inom entreprenadbranschen.
- Undersökning av aktuella byggmetoder.
- Dagsläge och framtidsutsikter för arbetsbesparande teknologi.
- Beslut om de viktigaste förutsättningarna för robot-systemet.
- Val av lämplig robotteknologi.
- Modellkoncept.
- Modell.
- Utvärdering av modellen.
- Lämplighetsstudier.
- Fastläggande av återstående problem.

3. Prioritetsbestämning av robotiseringsprocessen

Genom utfrågningar och undersökningar bestämdes prioriteringsordningen inom olika arbeten. För armeringsmontage blev resultatet:

<u>Byggnadsdel</u>	<u>Arbetsmoment</u>
1. Balkar	1. Montage
2. Pelare	2. Materialhantering
3. Bjälklag	3. Bockning av järn
4. Väggar	

4. Bestämning av projekteringsförutsättningarna före utformningen av den robotiserade modellen

Mål för projekteringsutformningen:

- Utveckla en ny produktionsprocess för att underlätta robotisering.
- Undvika farliga arbetsmoment eller använda robotar.
- Standardisera varje byggnadsdel och förbereda för CAD-CAM.

- Undersöka möjligheter för prefabricering av delar och för montage av större enheter utanför byggnaden.
- Använd formen som en del av det färdiga huset.
- Tag hänsyn till att använda tre typer av robotar. Automatisk, fjärrkontrollerad och hybrider av dessa
 - alla med bemanning.

5. Koncept för robotiserad betongbyggnation

5.1 Flödesschema för systemet

- Stommen konstrueras huvudsakligen med CAD.
- Planering av material och tid tas ut på magnetmedia.
- Tillverkning av armering och formdelar med CAM-system.
- Uttransport och sammanfogning av sub-system.
- Slutmontage med kran och robot.

5.2 Robottyper

- Balkarmeringsrobot - portabel, fältfabrik.
- Väggarmering- och formsammansättningsrobot - fältfabrik.
- Armeringsbalksammansättningsrobot.
- Robot som samarbetar med kran för utplacering och montage.
- Automatiska mätsystem (laser) för robotstyrning.
- Övriga - målning, hantering, sammanfogning etc.

6. Sammanfattning

Entreprenadföretagen väntar en invasion av industrirobotar.

Sammanfattning av avsnittet om bygg:

THE ROBOTICS INDUSTRY OF JAPAN TODAY AND TOMORROW

by JIRA 1982

Arbeten som behöver automatisering och arbetskraftbesparing:

- Arbeten med brist på kvalificerad arbetskraft som t ex formbyggnad för betong, tegelmurning.
- Farliga arbeten som fönsterputsning, inspektion och underhåll av diverse utrustning och utrymmen, rivning, arbete under jord och vatten.
- Otrevliga arbeten som inspektion och underhåll av avloppstunnlar.
- Arbeten, som inte kan göras av människor, som inspektion av underjordiska ledningar.

Av dessa olika robotapplikationer förväntas robotar för svetsning och inspektion av tankar att bli de första, som används praktiskt omkring år 1984. Kommersiella tillämpningar för 70 % av de övriga applikationerna förväntas omkring år 1986.

Av de totalt 22 applikationerna önskades 75 % av anledningen att de eliminerade farligt arbete. Resten önskades i första hand på grund av ökad effektivitet.

Produktivitetsökning och svårighet att få arbetskraft var de två främsta anledningarna till att automatisera de följande fem uppgifterna:

- Tegelmurning och putsning
- Rörsvetsning
- Invändig ytbehandling
- Betonggjutning
- Sammansättning av byggnadsmaterial

För praktisk tillämpning anses arm- och handfunktion viktigast för 12 uppgifter (av 22), rörelsefunktion viktigast för 7 uppgifter och känsel funktion viktigast för 3 uppgifter.

För utomhusuppgifter anses arm- och handfunktion tillsammans med rörelsefunktion som viktigast, medan man för inomhusuppgifterna anser att arm- och handfunktion tillsammans med bedömningsfunktion är viktigast.

Medelkostnaden för robotorna förväntas bli 3.5 milj kr. Dyrast blir robotar för tunnelbyggande (7.5 milj kr) och billigast robotar för betongpålning (1.6 milj kr).

Efterfrågan 1985 beräknas till 31 milj kr (i huvudsak för svetsning och inspektion av tankar samt vägbeläggningsreparationer) och 1990 beräknas den bli 2.1 miljarder kr.

Antalet beräknas bli: ca 100 st år 1985
ca 700 st år 1990
ca 3000 st år 1995

De 22 applikationerna som gäller byggnation är:

- * Bultning, nitning och svetsning av stålstommar
- * Ställningsmontering och demontering
- * Betongpålning
- * Vägghpanelmontering ute och inne
- * Behandling av ytterväggar: Bruksprutning, tegelmurning, tätning, spricksökning och reparation
- * Golvkakel- och gipsutläggning
- * Rörsvetsning och isolering
- * Transport av byggnadsmaterial förbi hinder på arbetsplatsen
- * Ytbehandling invändigt
- * Rivning av betong och annat
- * Gjutning av betong samt vibrering
- * Sammansättning av standardpaneler och andra delar
- * Tunnelbyggnation. Montage av segment
- * Betongsprutning och bultning i tunnlar
- * Borrning och laddning för sprängning
- * Undersökning av kvarblivna sprängladdningar
- * Borrning i kassuner
- * Borttagning av material vid borrning av stora vertikala hål
- * Svetsning och inspektion av tankar
- * Rostborttagning och målning av stålorn och broar
- * Reparation och målning av trafikerade vägar
- * Hantering, koppling och läggning av vatten- och avloppsledningar

Sammanfattning av artikel i ENR 83 07 21

"Japan takes early lead in robotics"

I Tokyo har en byggare installerat en "playback"-robot, som man har lärt att spruta brandskyddande rockwool och cement. Den rör sig själv till en bestämd plats, positionerar sig med ett fel på $\pm 0,2$ inch. Därefter ställer den sig på fyra utliggare och sprutar sedan 20 % snabbare än en yrkesman. Detta säger Yorio Shohawa på Shimizu Construction. De har modifierat en färgsprutande robot som kostar ca 10.000 \$. Totalt har projektet kostat ca 400.000 \$. Shimizu och åtta andra entreprenörer samarbetar betr robotar. Japans Byggministerium har satsat 2 milj \$ i ett forskningsprojekt om hur robotar kan användas i projektering, produktion och underhåll.

Vid Carnegie-Mellonuniversitetet finns ett institut för robotar i byggprocessen. Där arbetar man med att ersätta algoritmer med tumregler i dataprogrammen. Rörlighet, navigationsförmåga och strategi är saker man jobbar med. Tegelmurning och tunnelinklädnader är något som man kommit en bit på väg med, men som på grund av brist på projekt ligger stilla. Man räknar med att utvecklingen kommer att gå framåt inom de farliga applikationerna. En svetsrobot har använts praktiskt vid ett höghus i Hongkong. I England pågår arbete med robotar som arbetar på havsbotten eller inne i rör.

Development of spray robot for fireproof cover work

Tetsuji Yoshida

Takatoshi Ueno

Minoru Nonaka

Shinobu Yamazaki

**Research Institute,
Shimizu Construction Co., Ltd.**

1985

§1. INTRODUCTION

The robotization in industry has actively been progressing in Japan. This has been growing impact onto the construction field as well.

The labor productivity in the construction field has not been increased for a decade and robots have been expected to increase productivity. We have been studying application of robotics to construction. The spray robot system developed by us is the results from such a need.

Fireproofing cover material for steel are required to keep strength of steel structure during fire. One process of fireproofing is to use a solid board, the other is to spray fireproofing materials. Three spraying processes are used and they are dry, wet and semi-dry. The semi-dry process is the most popular one due to economical reason.

The spraying of fireproofing material is carried out by construction workers on site. Rolling tower for scaffolding is used. The worker on the scaffolding have to wave the spray nozzle. The working environment, however, is quite bad with small particles of rock wool filling surrounding area. As fireproofing has a detrimental effect on working environment and involves the repetition of spray motion, it is a job well suitable for a robot.

The purpose of this spray robot is to relieve workers from poor conditions and to increase the processing speed.

§2. OUT LINE OF SHIMIZU SITE ROBOT-1 (SSR-1)

Initial motivation for developing SSR-1 comes from a demand of the construction site which has many problems about work condition control of fireproofing cover work. Managers and foremen on site have wanted to improve the spray work conditions better than before. Then, 1982, Research Institute and Construction Machinery Division of Shimizu Construction Co., Ltd. organized the task force for the development of a spray robot system. This task force's activity consisted two stages, the first is to design a robot system and to manufacture the machine, the second is to apply the robot system to a actual spray work and to obtain various kind of information and data about work conditions, quality of the robot's spraywork, and machines.

The task force of the developing SSR-1 established three purposes:

- 1) To relieve the human worker from the environment with high dust concentration.
- 2) To decrease a number of workers to improve the labor productivity.
- 3) To speed up the spray work to shorter the priod of fireproofing cover works.

The purposes had to be accomplished under the condition that the quality of spray work by robot was almost the same as was done by human workers.

2.1 Conditions for system design

The spray work on site is one of the typical human works which require technics and skills and such works are difficult to be automatized by conventional machines for construction. Then the task force began to design the spray system with a spray robot for a manufacturing industry. And it established the design conditions as follows:

- 1) The same materials and machines for material supply should be used.

- 2) The robot must have mobility.
- 3) The robot should work sequentially and continuously without human help.
- 4) The robot should be capable of travelling and positioning on the dusty and dirty floor.
- 5) The weight of the robot should be within the limit of design load (300 kgf/m²).
- 6) The size of the robot should be determined according to a size of the lift cage to be set up on site.
- 7) The robot must have safety functions for human workers, finished building (floor, girders and beams, pillars, curtain walls, glasses, and so on), and the robot itself.

The task team has chosen the system among several alternatives.

In Japan, manufacturers are providing many types of playback robots. KTR-3000F (KOBELCO-TRALLFA SPRAY ROBOT) was introduced because the specifications listed below are satisfied.

- 1) To have large quantity of the memory device to be able to memorize many spray patterns.
- 2) To be able to carry the nozzle for spray more than 2 ~ 3 kgf (5 kgf enough).
- 3) To be able to use the continuous pass (CP) control for teaching the robot.

2.2 System structure of the spray system using SSR-1

The spray system has material supplying plant and SSR-1 for spray works.

Material supply

Materials for fireproofing (semi-dry type) are rock wool and cement milk. Rock wool which is poured into the feeder is carried upward on the air flow created by the blower. The air with rock wool goes into the wool agitator through the flexible hose (3 inch dia.). The flow with rock wool is stabilized when air goes through the wool agitator.

Cement milk is prepared in the cement mixer. The weight ratio of the water and cement is about 2:1. The cement milk is pumped up through 1/4 inch flexible hose.

The material supplying plant is located on the 1st floor or on the basement, less than about 100m below the spray works. (Fig.1)

Manipulator

The manipulator can be put in action programs directly by manual.

The spray robot consists of four main components: base, vertical arm, horizontal arm and wrist. This manipulator has 6 freedoms driven by the playback control system consisting of electro-hydraulic servo control.

The height and width of the moving area is about 2m x 3m. Because of the flexible wrist type, teaching works are not difficult in this moving area. Control wires, hydraulic hoses and material hoses are mounted on the supporters which are set every 1m interval. As these supporters can move smoothly on the floor, hoses and cables are protected from wearing out.

Traveller

The manipulator is mounted on the traveller which is made of an alloy of aluminium with higher strength than normal aluminium. Then the traveller's weight is 220kgf.

The traveller has 4 outriggers with wheels and the robot can stand vertically when travelling.

Control Equipment

The manipulator has a control equipment for itself, and the traveller has a sequential controller which controls the traveller and the manipulator.

The manipulator control equipment (CRC system = Computer Robot Control) has CP/PTP teaching and CP play back control functions. CRC controller consists of one pair of floppy disc drive unit and other computer circuits. CRC system allows 64 programs and the maximum programming capacity is 128 minuts.

Connecting the CRC system with the sequential controller, SSR-1 can playback and repeat the many kinds of programs. The total possible working time is lower than 2 hours.

The traveller control equipment has also the oscillator for the tractor guiding and steering.

Tractor

The tractor is driven by electric power of batteries (DC 24V charging every 8 hours) and guided by the path wire which is connected to the electromagnetic induction oscillator (3.5kHz). For the sensing of the magnetic field of the path wire, one pair of the coil is attached to the front axle. One magnetic switch that can recognize a iron plate (80 x 80 x 1t) is also attached to the front axle and for the sensing of the stopping point of the tractor.

This tractor can be operated by manual and automatic, changing the mode switch on the tractor or on the controller.

§3. SPRAYING RESULTS AND PROBLEMS OF SSR-1

3.1 Outline of the spraying work

SSR-1 was applied on The 43rd Mori Building. This building is suitable for SSR-1 because the beam distances are all 3.1 meters per module. The chart of the spray work is shown in Fig. 4.

The travelling path of SSR-1 is shown in Fig.5. The curve path was determined by trial and error.

We programmed chart of the spray work on the controller which can control travelling, stopping and spraying.

3.2 Results of the application (SSR-1)

3.2.1 Work conditions

We measured the dust concentration as an index for working conditions. A digital dust meter and a low volume air sampler were used for the measurements.

The conventional coefficient of the mass concentration K (mg/m^3) is determined by the digital dust meter and the optical disperse concentration C (CPM; Count Per Minute). Then we calculate the mass concentration M (mg/m^3).

$$M = K \cdot C$$

Fig.6 shows the results of dust measurements. The dust concentration depends on the distance from the nozzle.

3.2.2 Work Efficiency

We evaluated the work efficiency by checking spray time per determined area. As a result of this evaluation, it was found that the processing speed was almost twice as fast as the conventional method.

Fig.7 shows a pareto diagram for preparing robot system. There are some new tasks involved. The placement of a wire path and a plate for stopping points and the lifting work of the robot system are not included in the conventional method.

3.2.3 Quality

The fireproofing ability is determined by the specific gravity of rock wool and the thickness of the materials. The specific gravity of rock wool must be greater than 0.3 and the thickness of the fireproofing required is determined.

We found the specific gravity of rock wool sprayed by the robot is almost similar to the one achieved by a human worker. The major points for discussion concerning the dispersion of the fireproofing are shown in Fig.8. The biggest problem is to uniformly supply the material for spraying.

§4. OUTLINE OF SSR-2

Following the SSR-1, the SSR-2 was developed to improve some functions of the SSR-1 on jobsite. Main items for improvement are:

- 1) To introduce a new positioning system in relation to a beams to be sprayed.
- 2) To travel and gyrate by the robot itself.
- 3) The path wire for guiding the robot should be eliminated.
- 4) To improve the feeder to be able to supply rock wool more uniformly.

Fig.9 shows the structure of the SSR-2.

The specification of SSR-2 are shown in Table 2.

The main items improved are shown in Table 3.

The outward figure is shown in Fig.10 and Photo 4.

4.1 Main components of SSR-2

(1) Manipulator

Fundamentally, the manipulator is similar to the SSR-1's, but to make the teaching task easier, the serbo cylinders of the manipulator were replaced by the light friction type cylinder. The sensor for measuring distances was attached to the end of the robot arm.

(2) Travelling Device

The travelling device for the SSR-2 was designed to be able to gyrate at the same area.

The travelling device consists of the stand frame with 4 outriggers and the traveller frame with 4 wheels. The stand frame has 4 outriggers, hydraulic control valves, joint box for electric wires, sensors for collision avoiding and spacers for changing the height of the manipulator. The traveller frame has the gyrating and travelling drive units, and the sensor (rotary encoder) for measuring distances to be travelled. These 2 frames are connected at the center of the each frame. These 2 frames enable the traveller to act as to go strait, stop, stand by 4 outriggers, gyrate $0 \sim 90^\circ$ right (or left), and so on.

(3) Control Device

The control device of the SSR-2 is composed of the manipulator controller and the travelling device controller.

The manipulator controller is as the same as the SSR-1's.

The travelling device controller is designed to control the travelling sequence and to calculate the travelling position data (distance, height, angle).

These data are calculated by the 16 bit-computer control system (TM9995, 16KB ROM, 14KB RAM). In order to set the traveller at the initial position with good precision, the additional pendant box for manual was attached to the traveller's controller.

(4) Device for supplying materials

We improved the device for supplying rock wool which influences the dispersion of the thickness of the fireproofing. The hopper of the rock wool feeder was attached to the additional stirring shuttlecock and the vibrator.

4.2 Positioning method of the traveller

The positioning method of the traveller is the main character of the SSR-2. The path wire was used for the SSR-1, however, the SSR-2 no longer need to follow any path wires.

The SSR-2 is able to travel by itself with the sensor for travelling distance. Even the SSR-2 travels under program controls, slight deviation caused by the uneven surface of the floor. The Fig.11 shows the method of adjusting positions of the traveller.

The sensing device to confirm the positions, attached to the end of the manipulator's arm, consist of the potentiometer and the rod. The SSR-2 measures its position by pushing the rod

against the web (2 points) and flange (1 point) of the beam. It memorizes the basic value of pushing strokes e_0 (100mm). The distance of the two pushing points of the web are 2,000 mm. After travelling, the SSR-2 pushes the beam for measuring and memorizes the value of the e_1 , e_2 .

The difference of value Q (degrees of rotation) and L (distance between the robot and the beam) (Fig.11) are calculated approximately as following.

$$Q = \arctan \frac{e_1 - e_2}{2000}$$

$$L = e_0 - \frac{e_1 - e_2}{2}$$

These values are calculated by the computer, and then the SSR-2 adjusts its position. Fig.12 shows the sequence of adjusting.

§5. RESULTS OF THE APPLICATION (SSR-2)

The SSR-2 was applied to the TOSHIBA Building project.

This building has 40 stories having the floor plan and the steel frame design with standardized. The SSR-2 sprayed about 1500 m² on 35th and 36th floors' girders and beams. Fig.14 shows the travelling patterns for spraying by the SSR-2.

5.1 Results of the spraying work

Work efficiency

From the view point of economy, the comparison of the work efficiency between the robot and human is important. Fig.18 shows the relation of a human workers' efficiency and the SSR-2.

The SSR-2 can spray faster than a human worker. But SSR-2 needs the time for teaching and transporting.

In Fig.17 the time measuring unit is introduced. One time measuring unit is a period for spray works from (1) to (3) shown in Fig.14 and the content of one unit is shown in Fig.15.

The SSR-2 takes about 22 minutes for one unit and a human worker takes about 51 minutes. Therefore the SSR-2 can spray two times faster than a human worker.

Time measuring unit does not include a finishing and pressing the surface of fireproof and cleaning works by workers.

Additional to the characteristic such as higher efficiency, the SSR-2 does not need much man power for the preparation of the spray work. Fig.16 shows the preparation man power needed of the SSR-2. 11.5 man-day needed for the SSR-1 preparation, but for the SSR-2 only 2.08.

This shortening of the preparation time contributes to the improvement of the efficiency of the robot system.

5.2 Quality of the spray work

According to the improvement of the stopping point precision and the rock wool feeder, the dispersion of the sprayed thickness decreased and become almost equal to the one by a human worker's. Fig.18 shows the result of the thickness measured before finishing works.

§6. CONCLUSION

The SSR-1 and SSR-2 have accomplished the initial purposes of the development of the spray robot system. But, they have not fully been developed yet. We can find many items to be further improved. Some of the example are;

- 1) To make the robot operation system much easier
- 2) To train robot operators
- 3) To increase the capacity of the material feeder and the speed of the robot's playback actions
- 4) To change the teaching method from directly to remot operation using CP control or numerical control

Recently, some people have too much expectation on the robot and robotics. But, it is almost impossible to build up suddenly a human-less construction system with the highest technologies.

We have to continue the research and development of robots step by step, intending to eliminate unsafe works and improve the productivity of construction. It is true that robotics is a very powerful tool for the improvement of the construction works. Therefore engineers of the construction field should be familiar with robotics.

I conclude that, at this present stage, a good construction robot can not be produced unless a lot of problems for site application overcome.

Finally, I appreciate all the advises given by engineers and experts of construction sites and KOBELCO.

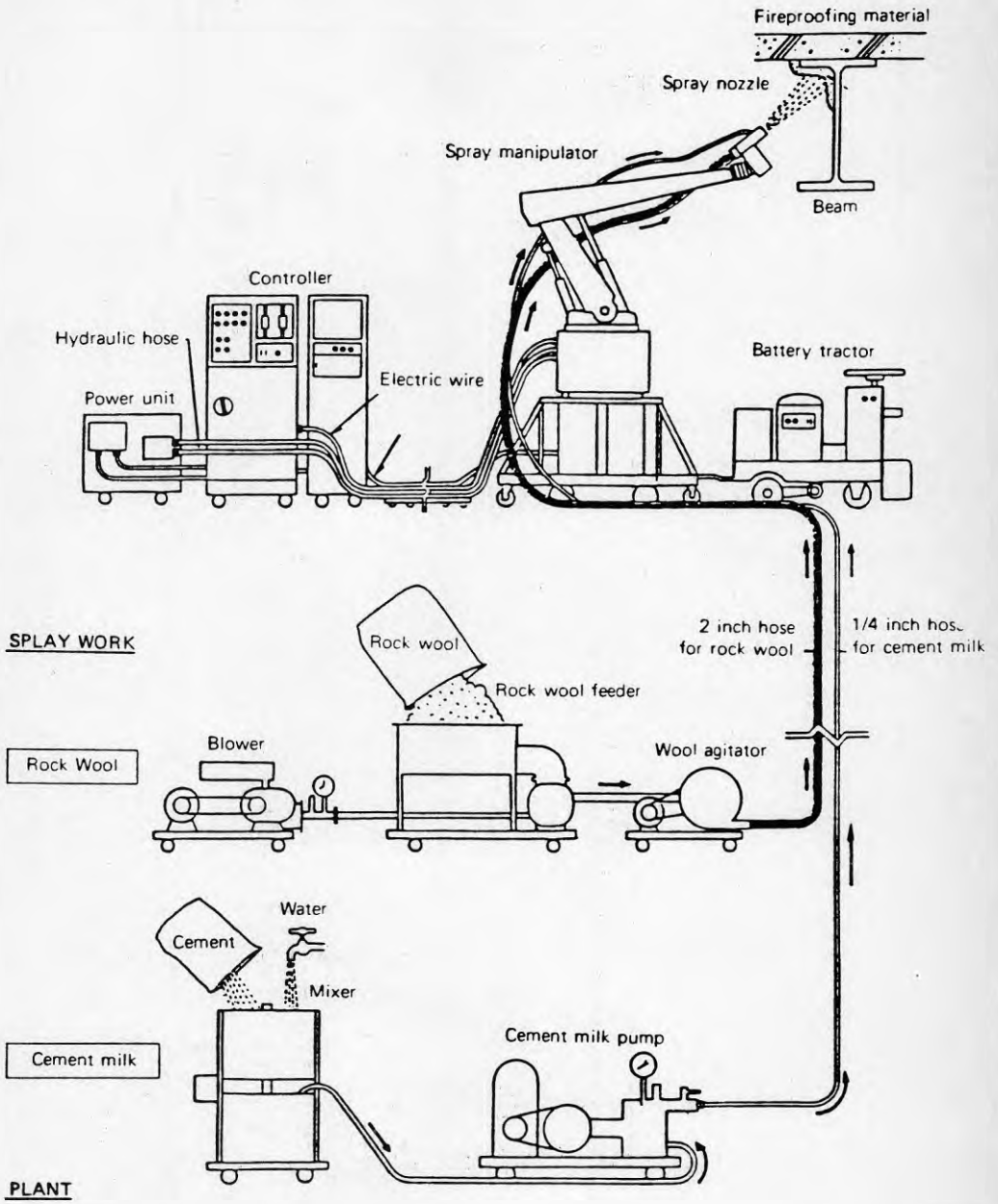


Fig. 1 Rock wool spray system with SSR-1

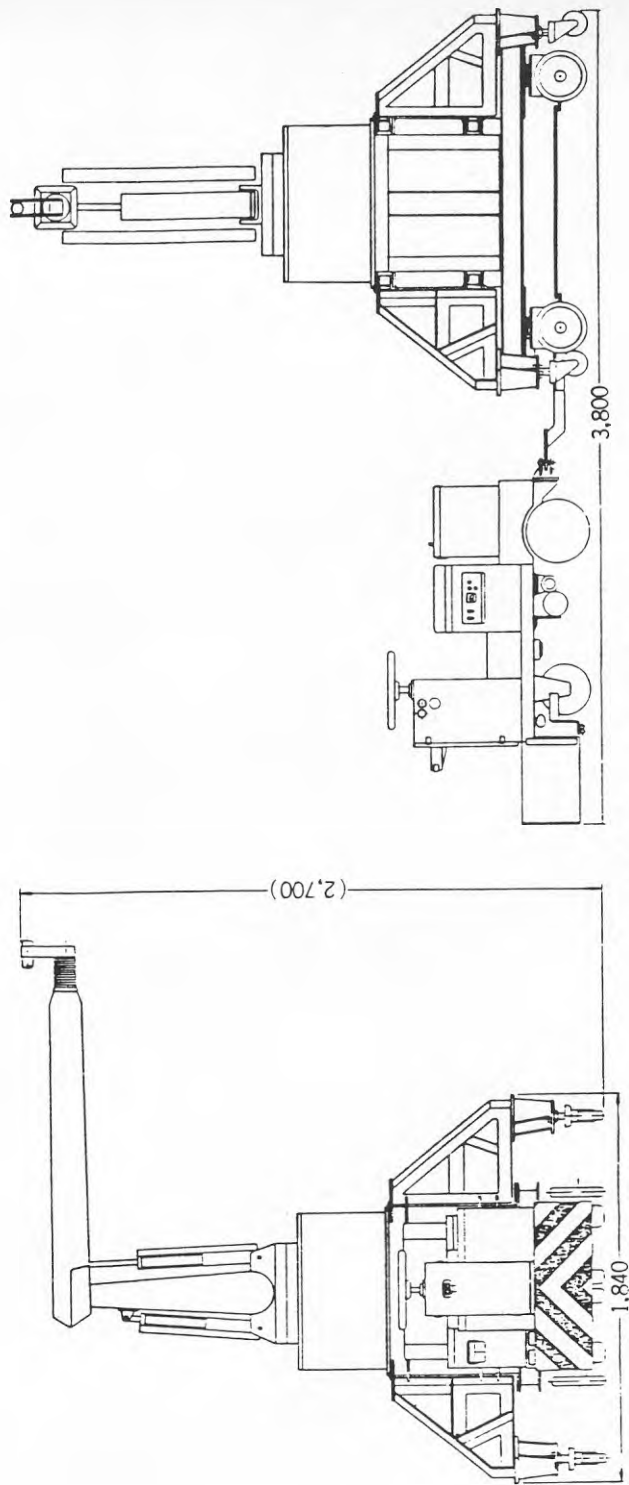


Fig. 2 Outward figure of SSR-1

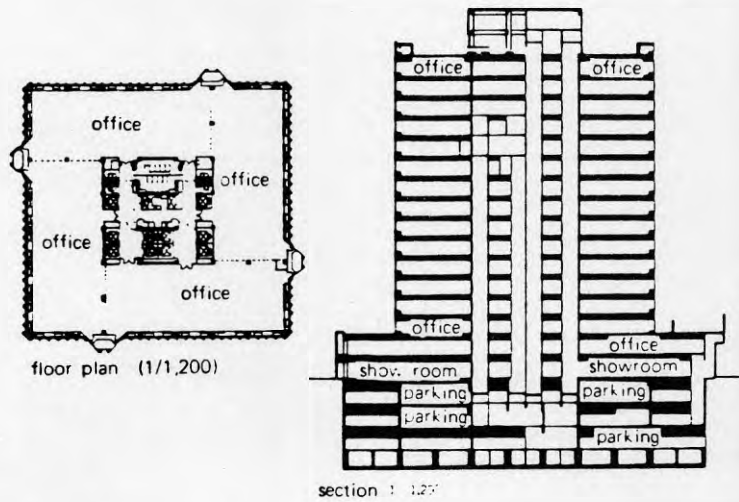


Fig. 3 Outline of Mori Building No.43

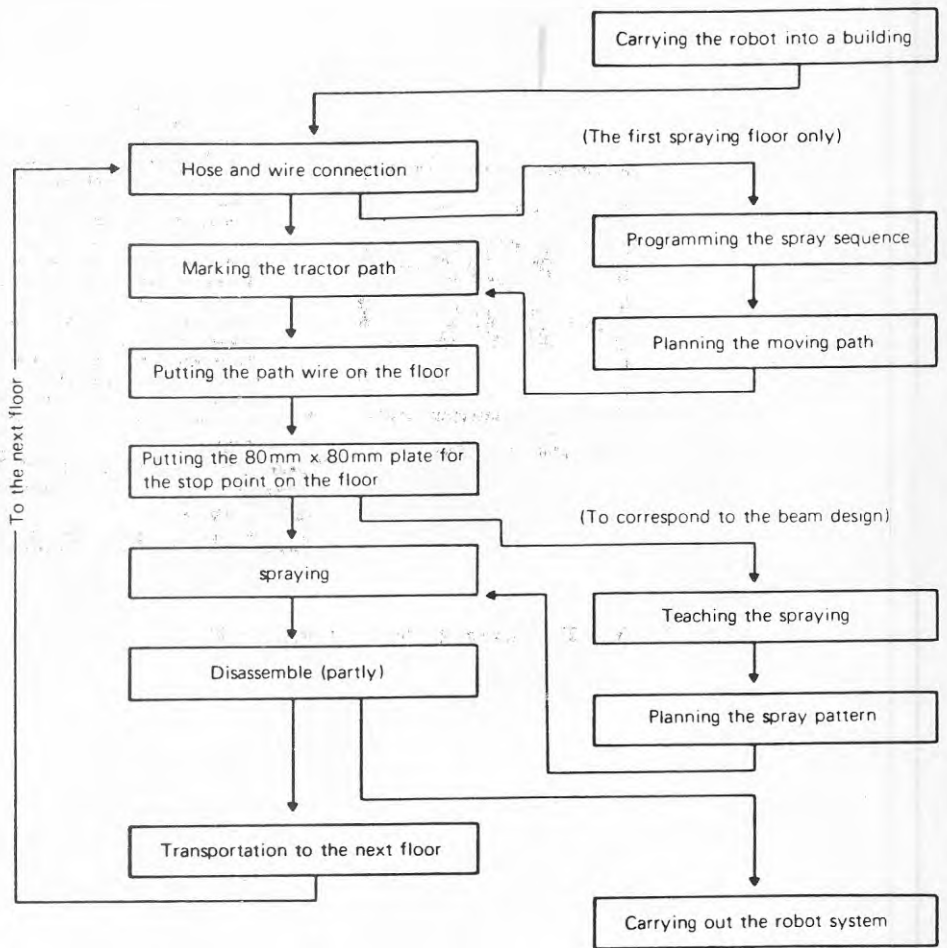


Fig. 4 Flow diagram of the SSR-1

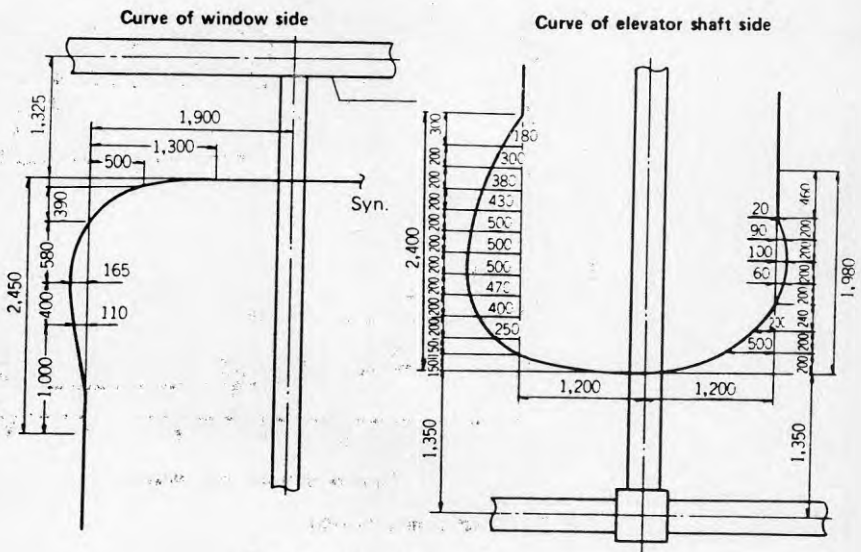
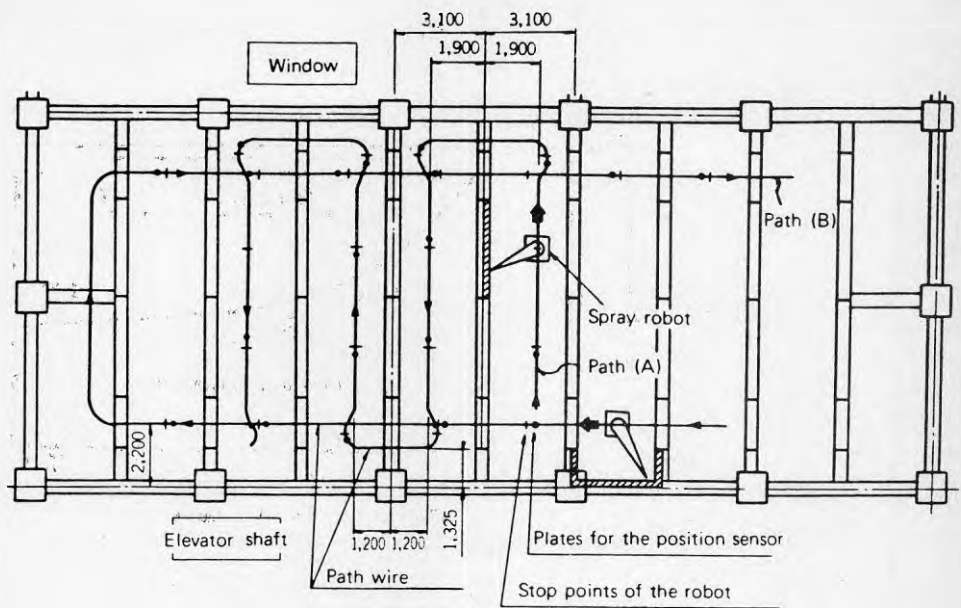


Fig. 5 Planning of the path wire

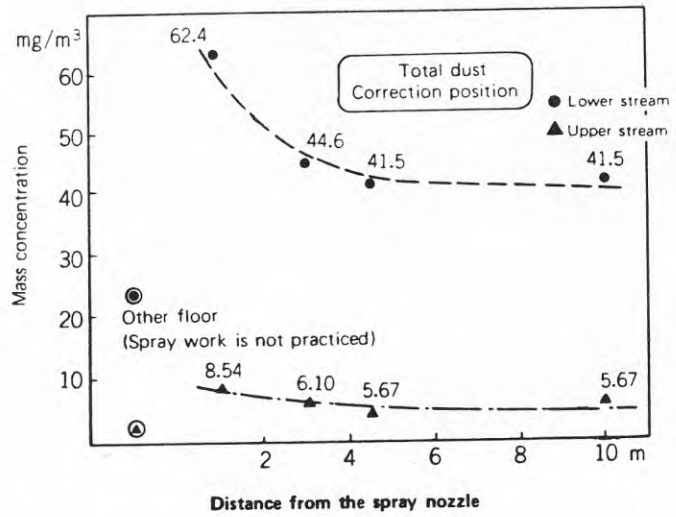
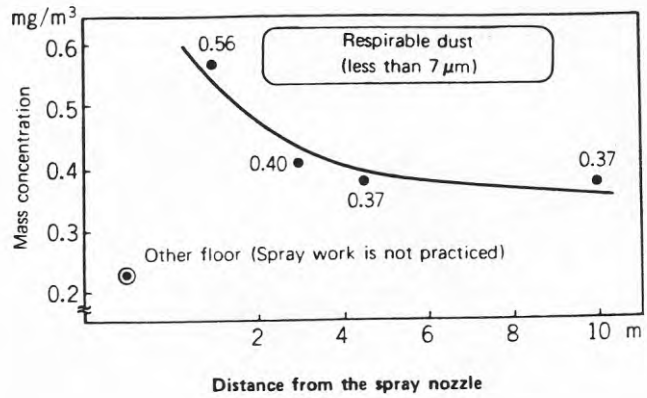


Fig. 6 Dust concentration

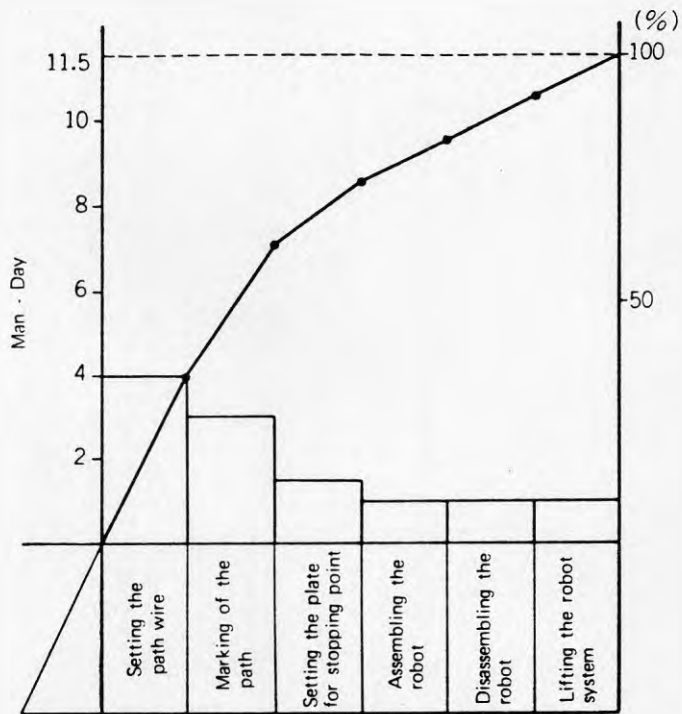


Fig. 7 Manpower

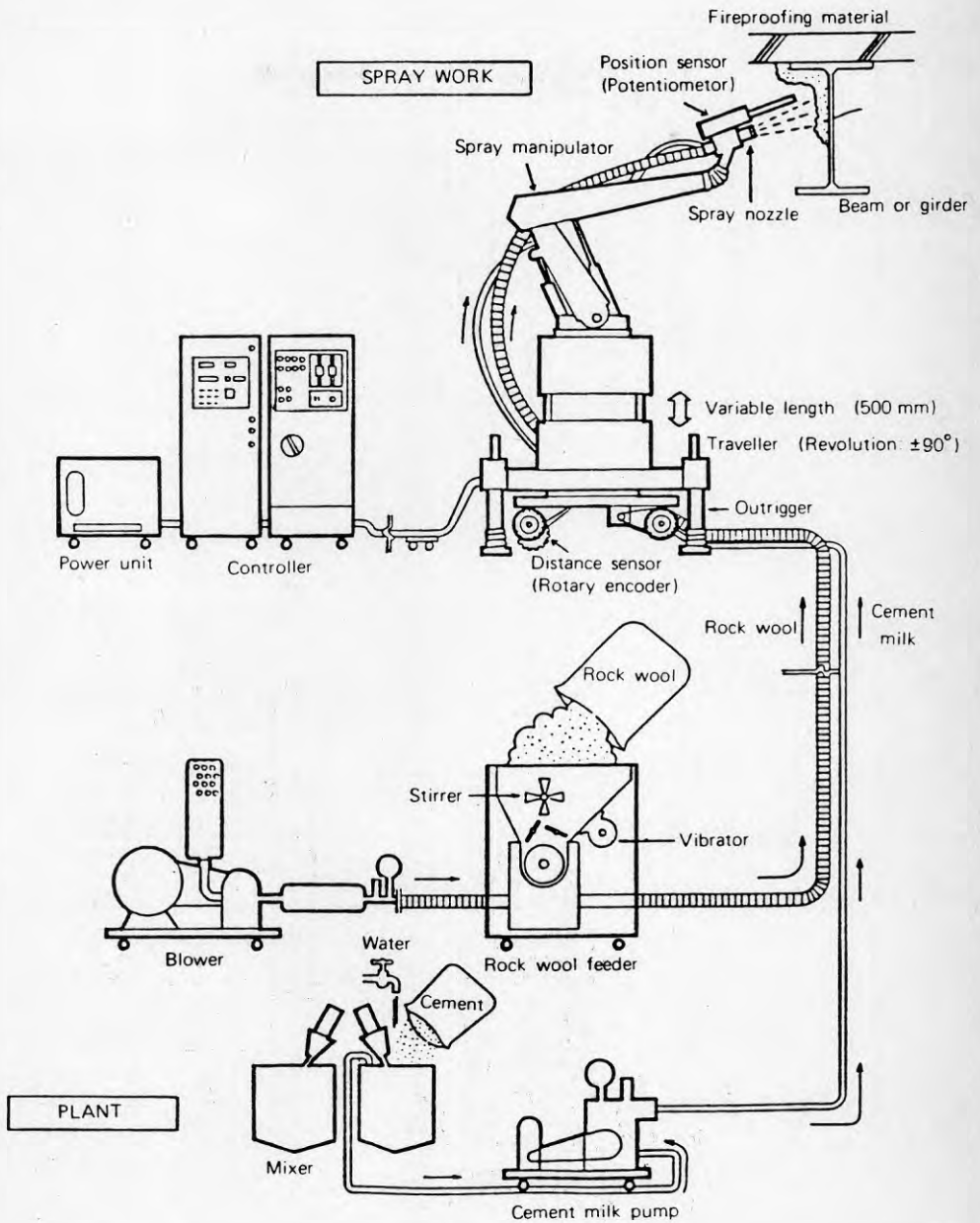


Fig. 9 Rock wool spray system with SSR-2

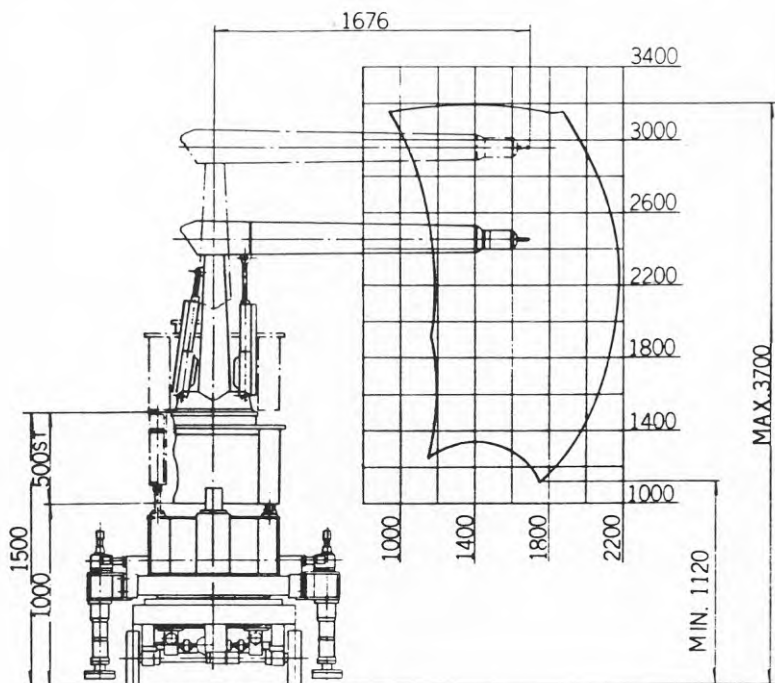
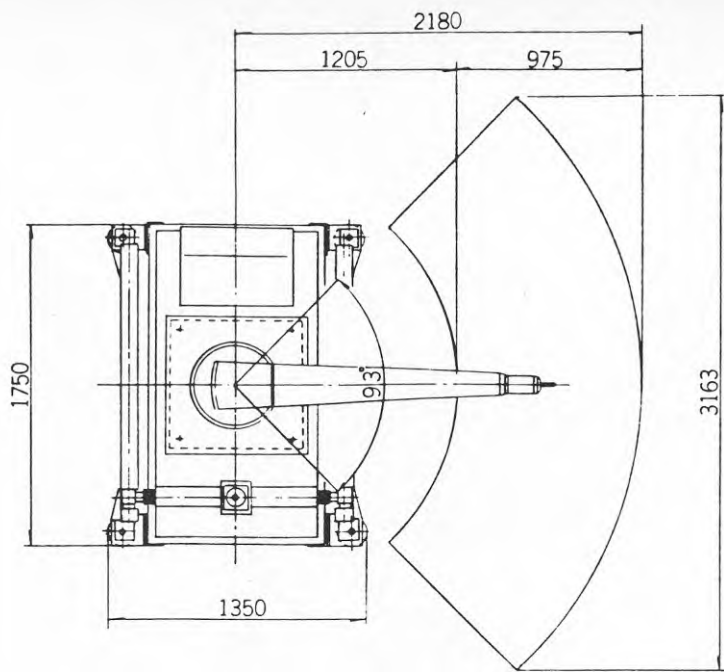


Fig. 10 Outward figure of SSR-2

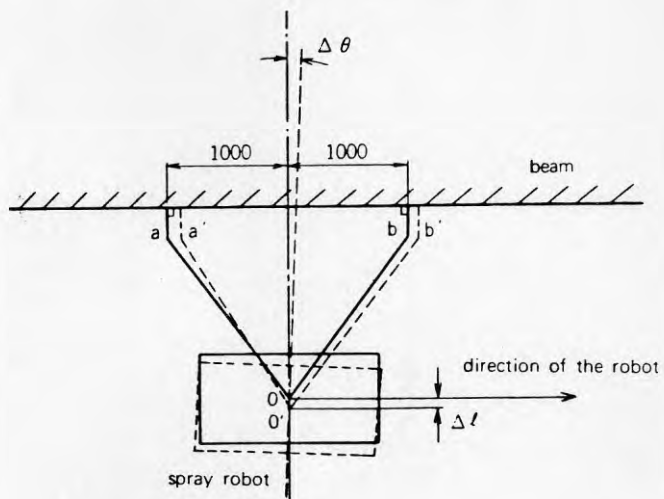


Fig. 11 Method of the positioning

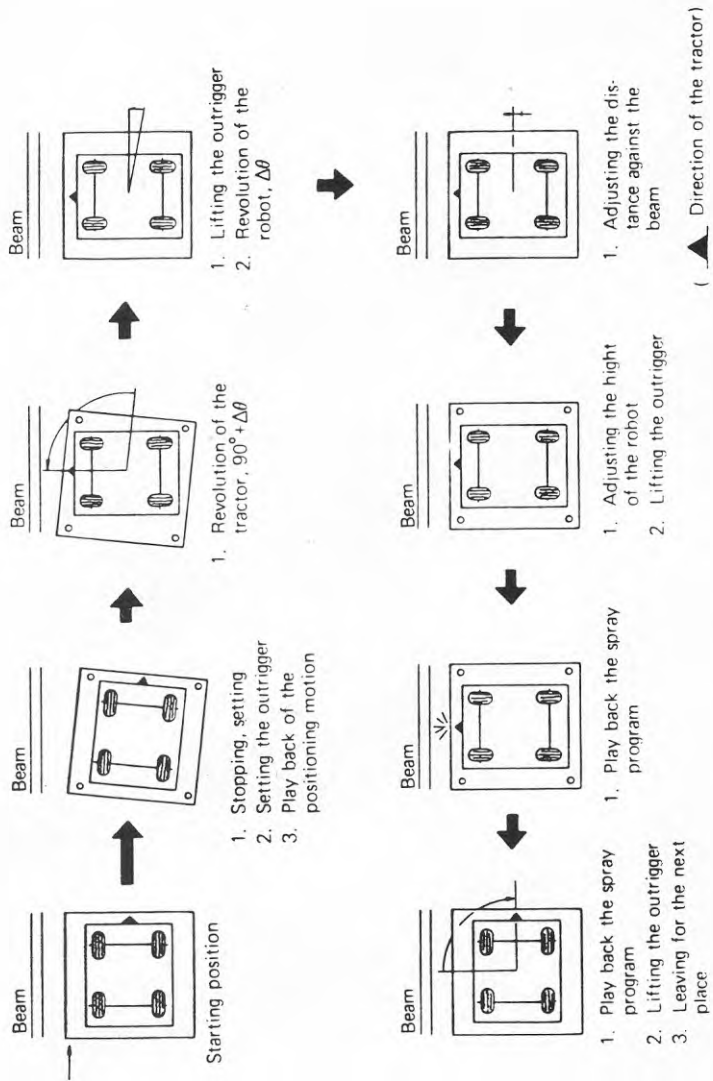


Fig. 12 Sequence of the position adjustment

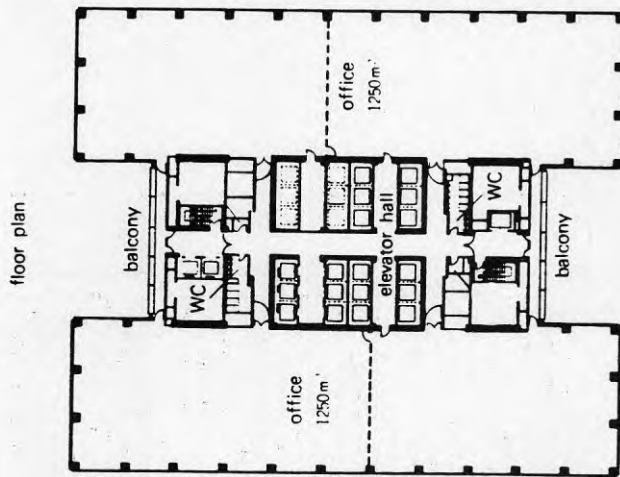
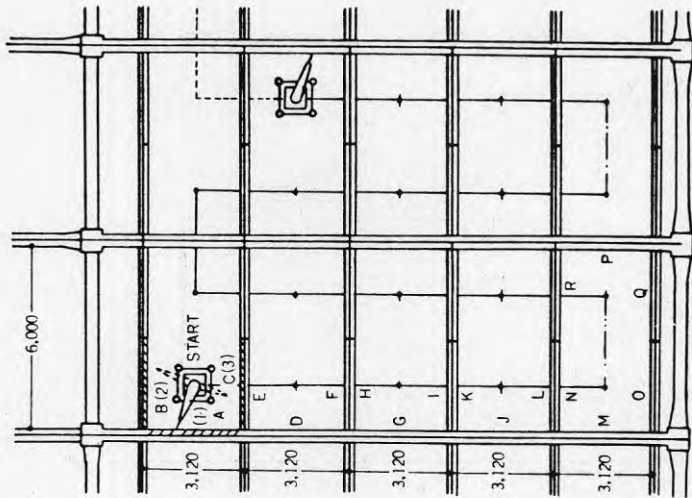


Fig. 13 Plan of TOSHIBA Building



Sequence

- (1) Positioning & spray at A beam
- (2) Turn 90° (CW) & spray at B beam
- (3) Turn 180° (UCW) & spray at C beam
- (4) Travelling & repeat (1)~(4)

Fig. 14 Track of SSR-2

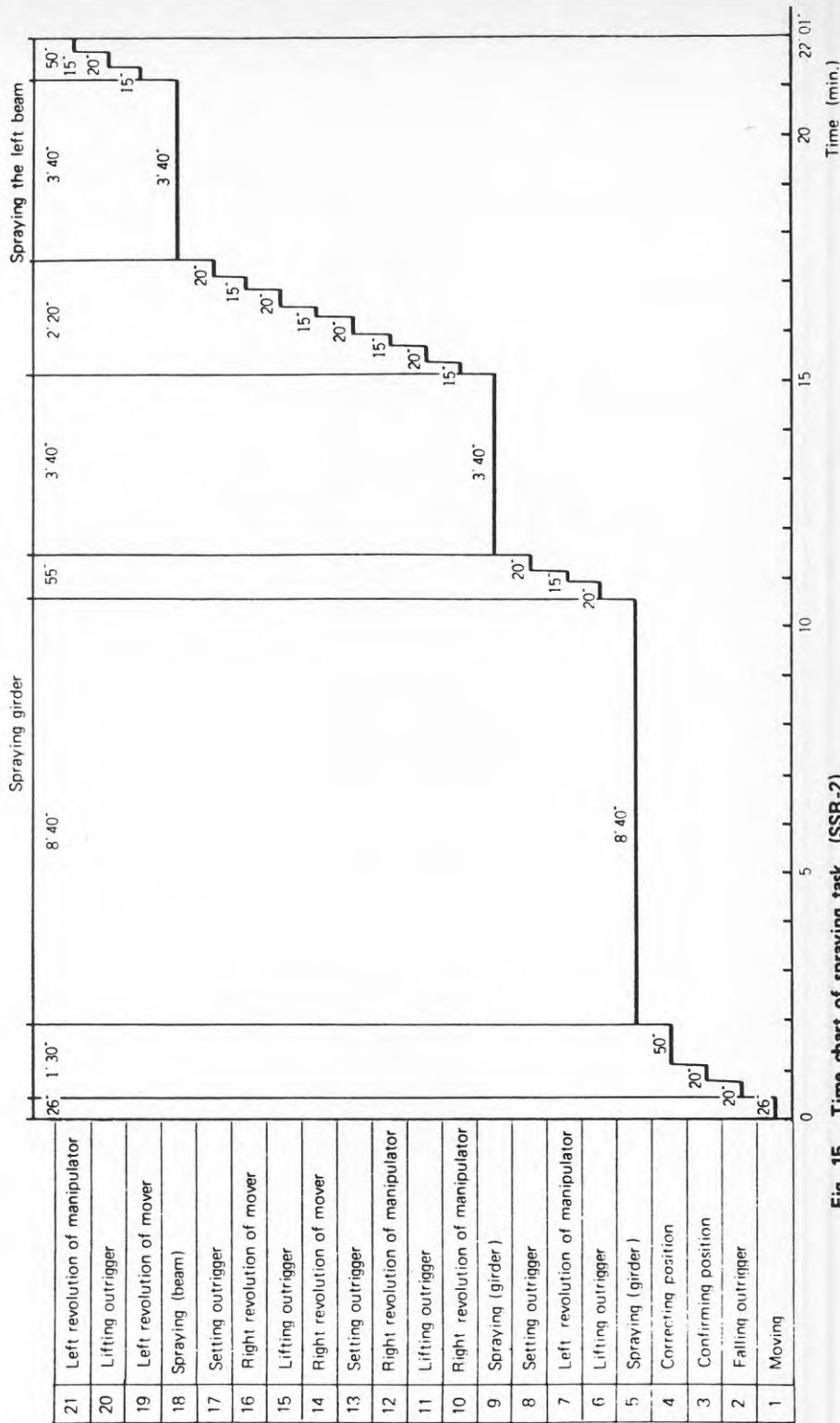


Fig. 15 Time chart of spraying task (SSR-2)

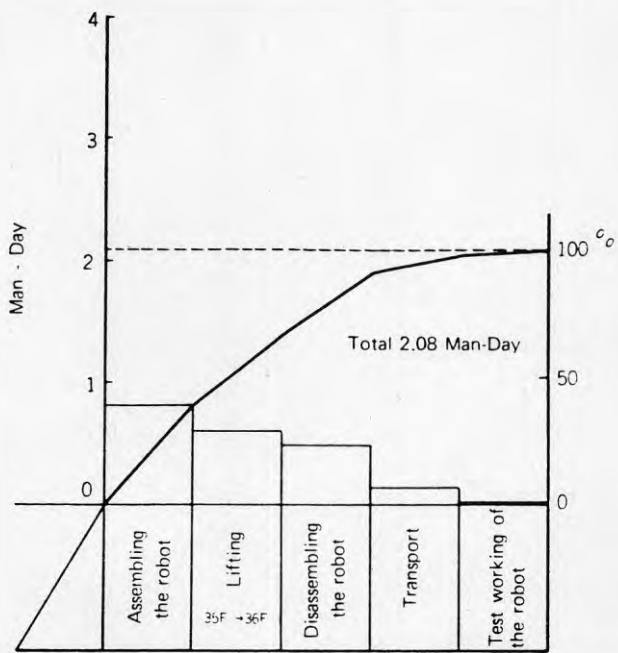


Fig. 16 Man power (SSR-2)

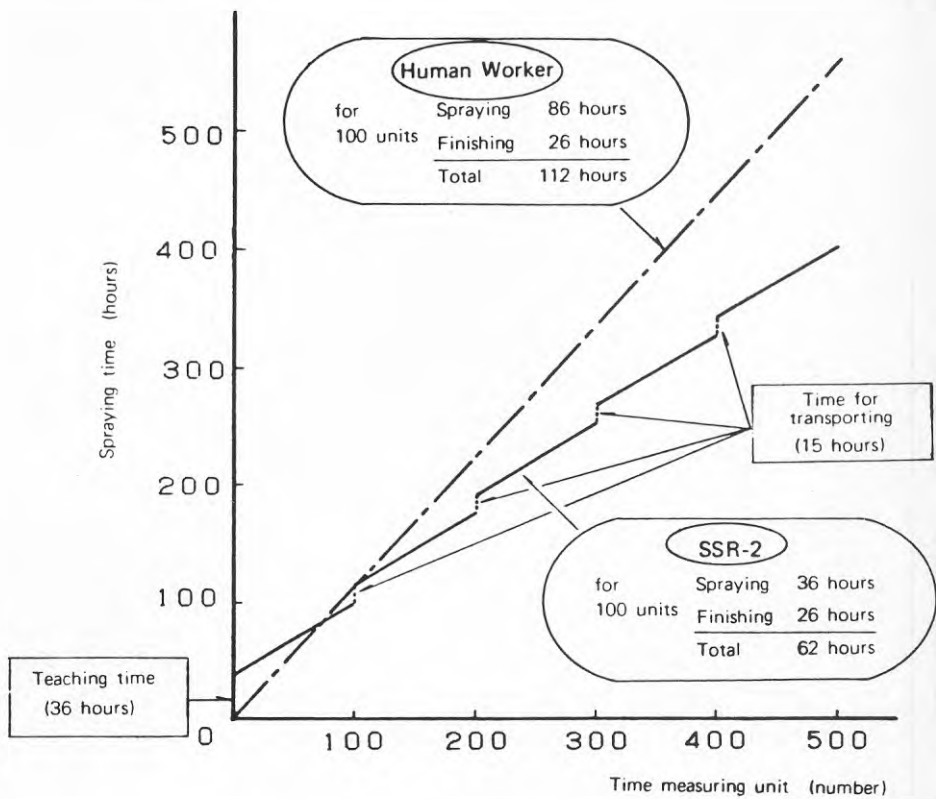


Fig. 17 Work efficiencies of a human worker and SSR-2

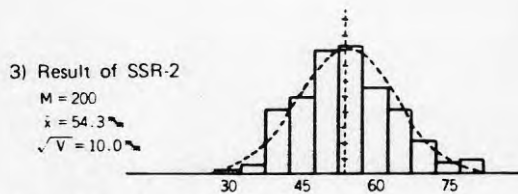
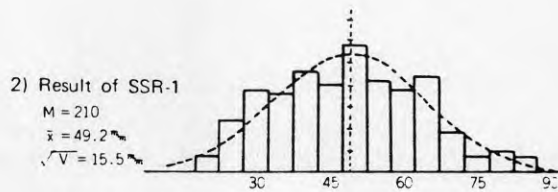
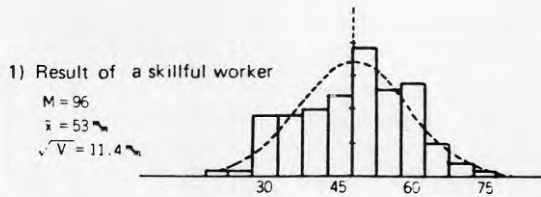


Fig. 18 Thickness

		Manipulator	Tractor
Robot	Axes	Right-left turning	100°
		In-out	75°
		Up-down turning	72°
		Hand up-down swing	176°
		Hand right-left swing	176°
		Hand revolution	210°
		Mobility	Forward-back (radius of gyration min. 1.2m)
	Speed	Arm speed max. 1.7 m/sec.	Tractor speed max. 2.5 km/hour
	Positioning precision	±5 mm	±20 mm
	Power source	Hydraulic 70 kgf/cm	Storage battery (DC 24 V)
Weight	Manipulator Tractor Power unit Control unit	700 kgf 325 kgf 270 kgf 200 kgf	
Control unit	Control function	Programmed tracking and spraying	
		Sequential mode Electro-hydraulic servo, CP/PTP control	
		Navigated by electromagnetic induction and programmable sequence controller	
Memory capacity	Max. 128 min. (CP mode) Max. 38000 points (PTP mode)	Max. 63 steps	
Safety device	Optical sensor and touch sensor for collision avoidance Automatic tractor controller (Course out, Interception collision)		

Table-1 Specifications of SSR-1

Travelling device	Degree of freedom		3 (travelling revolution)
	Travelling function	Power	hydraulic actuator
		Travelling speed	min. 1.2m/min max. 6m/min
		Positioning precision	±5mm
	Revolution function	Power	hydraulic actuator
		Revolution angle	±102.5° (manual) 1±90° (automatic)
		Revolution speed	min. 0.4rpm, max. 2rpm
	Outrigger function	Power	hydraulic actuator
Elevating speed		200mm/min	
Elevating precision		±1mm	
Height		max. 500mm	
Control sequence		automatic travelling method programmed by travelling distance and revolution angle	
Correcting function	Confirming precision	±5mm	
	Method of correcting position	Detecting the position and correcting itself by position sensor at the end of the manipulator arm.	
Manipulator	Degree of freedom		6 (Right-left turning, up-down traverse, In-out, Right-left swing, Up-down swing, Revolution)
	Position precision		±5mm
	Sequential mode		Electro-hydraulic servo, CP/PTP control
	Memory capacity		CP: 4~128min PTP: 3800 points
Others	Weight		850kg (Manipulator 335kgf Tractor 470kgf)
	Measurement		Length : 1750mm Width : 1350mm Height : 2500~3000mm
	Safety function		<ul style="list-style-type: none"> • Collision protecting device with tape switch • Optical device for detecting obstacles • Alarm device with rotary light

Table-2 Specification of SSR-2

		SSR-1	SSR-2
Travelling device	Travelling method	Tractor	Self-moving
	Induction	Electro-magnetic induction	Self-correcting (Controlled by computer)
	Speed	Max. 40m/min	High 6m/min Low 1.2m/min
	Revolution	Radius of gyration min. 1.2m	90°
	Actuator	Storage battery	Hydraulic actuator
	Precision	±20mm	±5mm
Measurement	Measurement	Length 3.80m Width 1.84m Height 2.4m	Length 1.75m Width 1.35m Height 2.5~2.9m
	Weight	1025 kg Manipulator; 450 kgf Travelling device; 250 kgf Tractor; 325 kgf	805 kg Manipulator; 335 kgf Travelling device; 470 kgf
	Position control	Navigated by electromagnetic induction and programable sequence controller	Detecting the position and correcting itself by position sensor at the end of the manipulator arm

Table-3 Modification

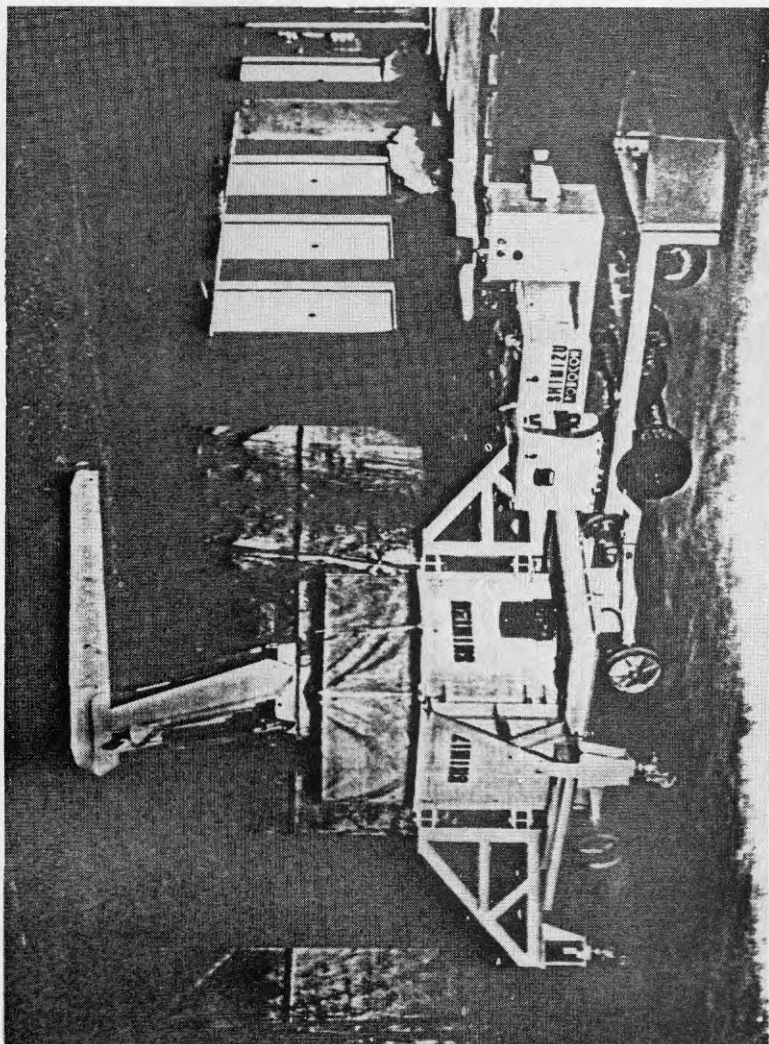


Photo - 1 SSR-1

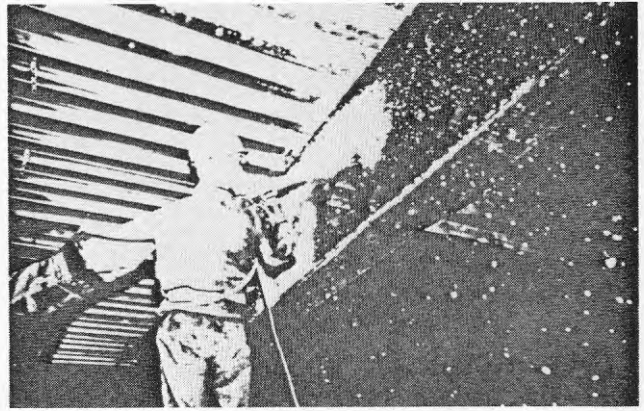


Photo - 2 Teaching

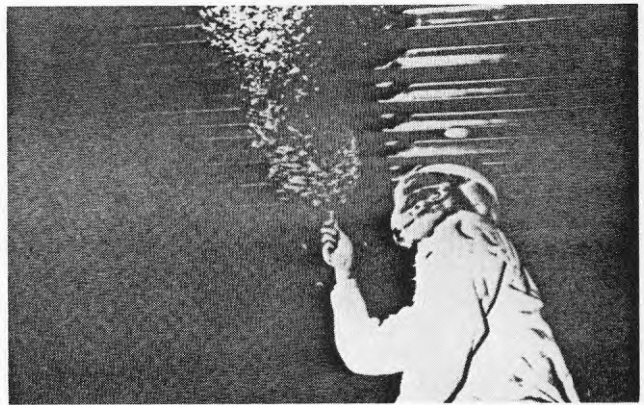


Photo - 3 Measuring the thickness

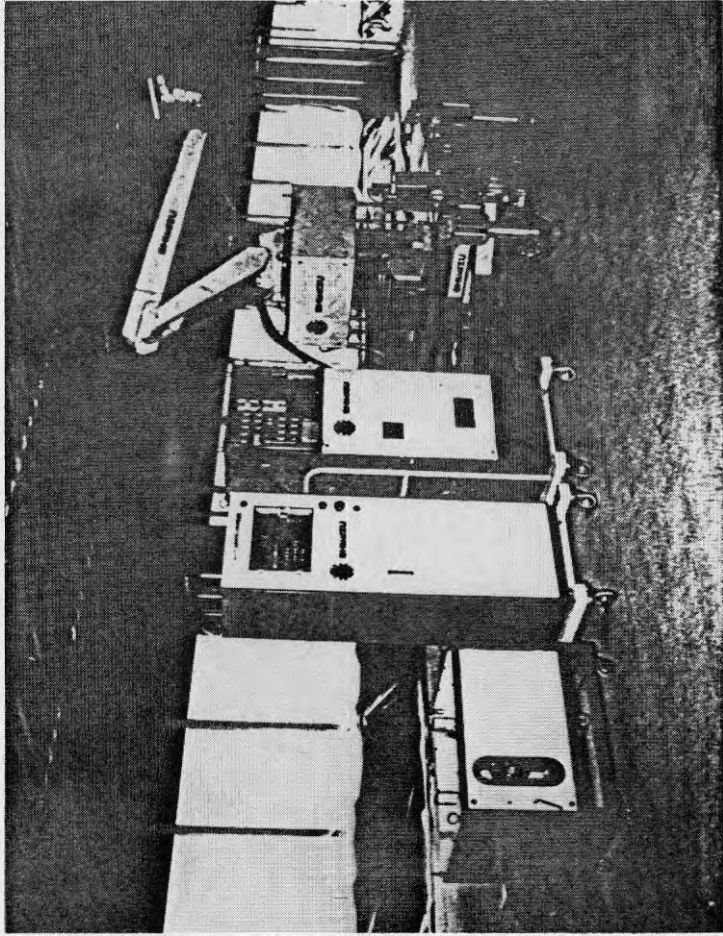


Photo - 4 SSR-2

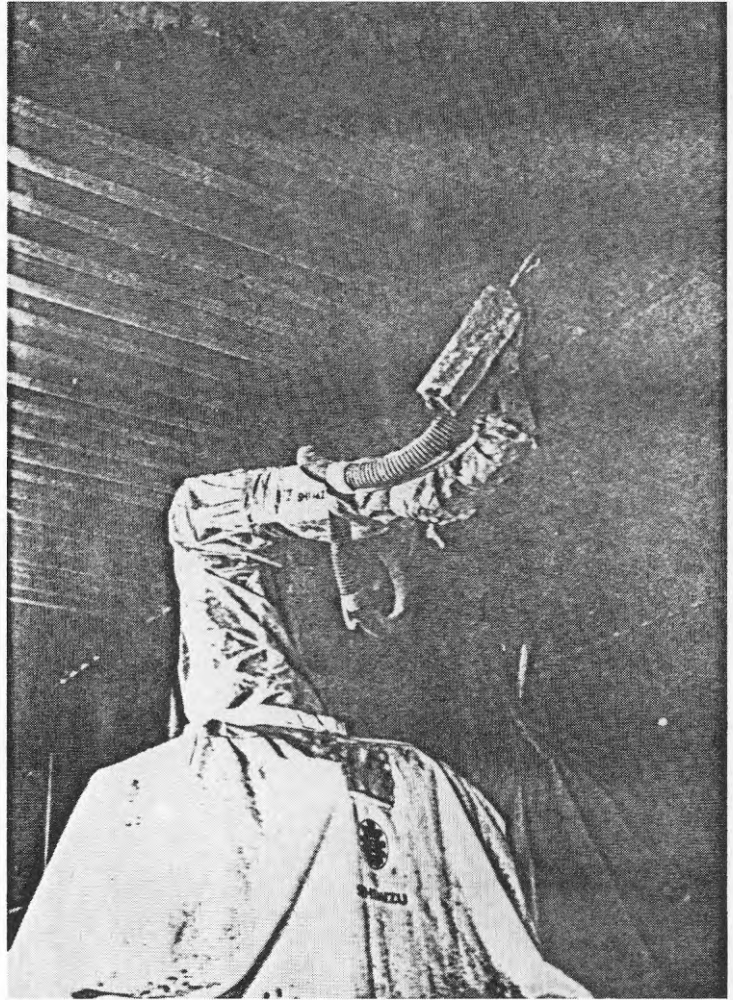


Photo - 7 SSR-2 under spray work

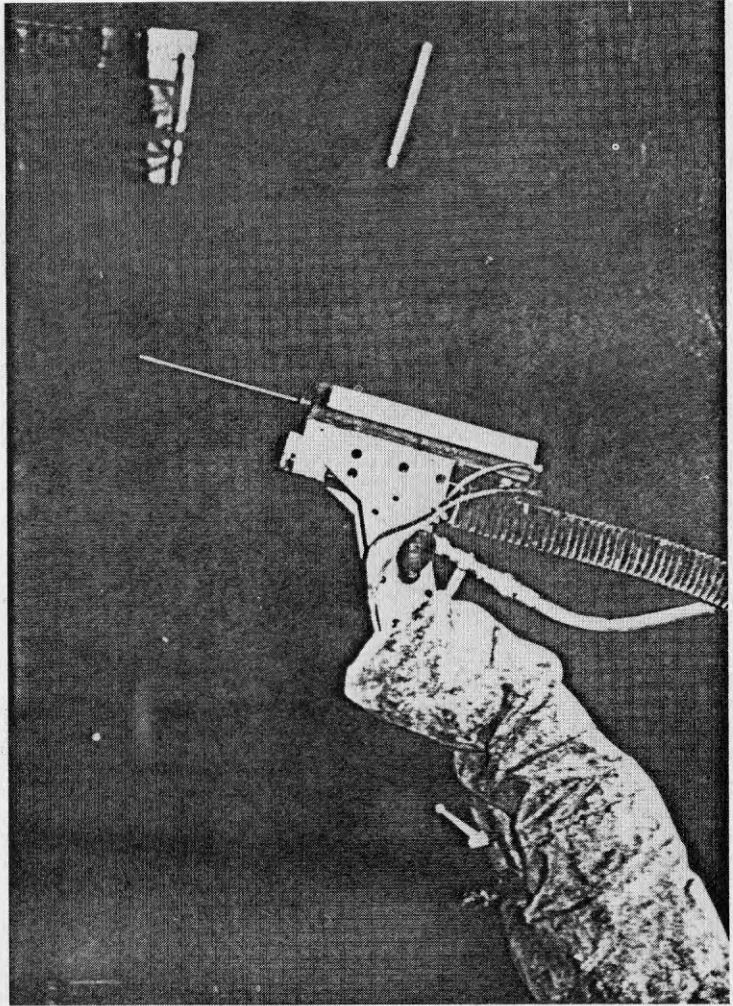


Photo - 5 Sensing device for the positioning

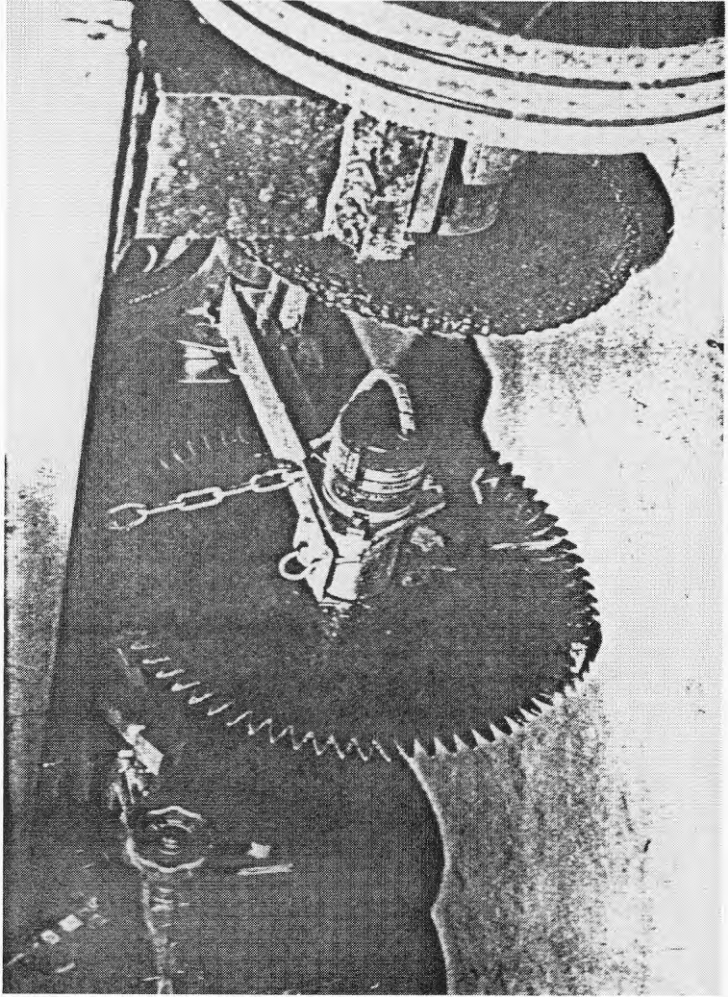


Photo - 6 Sensing device for the distance

Sept 1888

1888





**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 821559-5
från Statens råd för byggnadsforskning till SIAB,
Förvaltning för Teknik och Management, Stockholm.**

R15: 1988

ISBN 91-540-4847-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6708015

**Abonnemangsgrupp:
R. Byggandets ekonomi
och organisation
S. Byggplatsens verksamhet**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirkapris: 42 kr exkl moms