



# 韓国における建設施工の機械化・ 自動化に関する研究開発の 現状と課題

**2015年1月23日**

**前田純一郎**



# 本日のお話

## ● 自己紹介: バックグラウンド

- 機械部品の製造工程の自動化研究 (東京大学)
- 建築施工の自動化に関する研究開発 (清水建設)

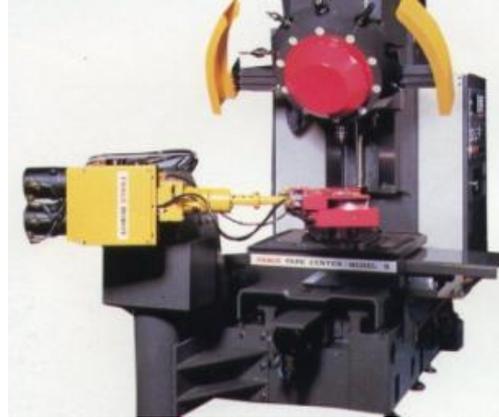
## ● 日本における研究開発の経緯

## ● 本論: 韓国における研究開発

- 韓国の建設生産を取り巻く環境
- 韓国の建設の自動化・ロボット化の経緯
- 韓国における研究・開発の事例の紹介
- 現状と課題

# 自己紹介:バックグラウンド(1)

機械部品の製造工程の自動化研究(東京大学)



## 機械部品 機械加工の数値制御(NC)化

**基本的な入力情報のみで、機械加工工程を全自動化する。**

→ **CNC:コンピュータ制御NCの実現** 1970's

→ **CAD/CAM** → **FA、FMS(無人化工場)の実現** 1980's

→ **CAE, CAT**

→ **全製造工程のコンピュータ統合 (CIM)** 1990's

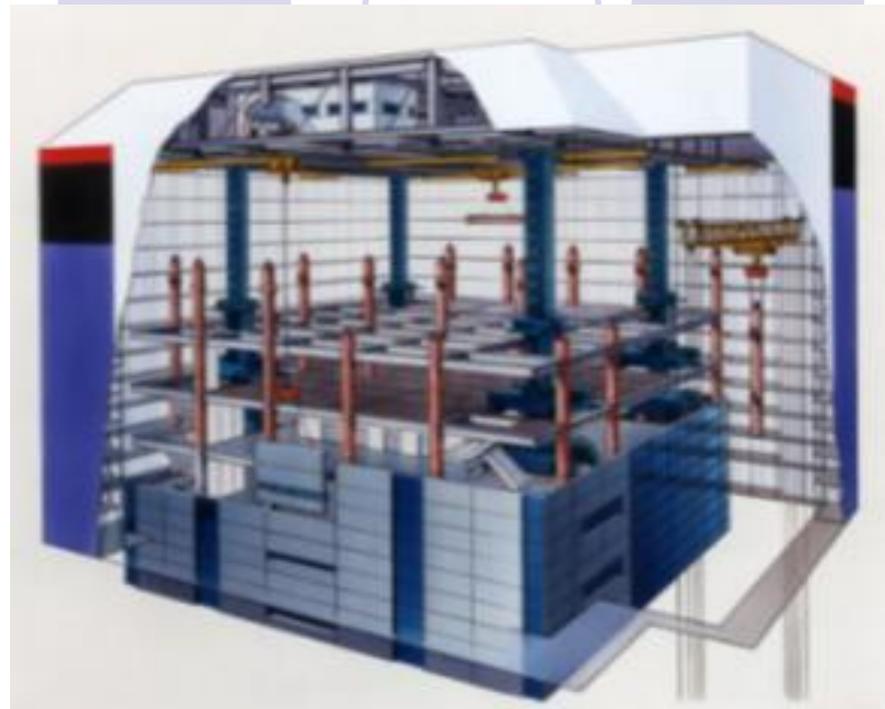
→ **デジタルエンジニアリングの確立** 2000's

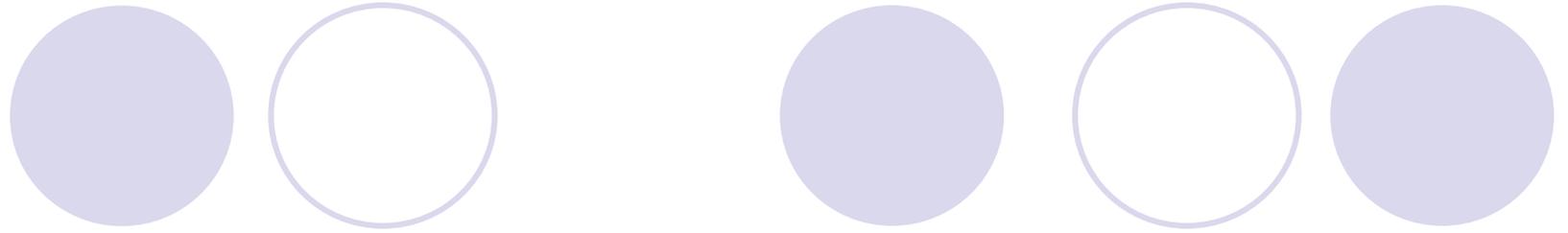
# 自己紹介:バックグラウンド(2)

建設施工の自動化に関する研究開発(清水建設)

- **建設部材の製造工程へのコンピュータ導入**  
フルハーフ部材の製造ライン業務の電算化
- **建設施工プロセスの機械化・自動化・ロボット化**  
単一の建設作業へのロボット技術適用  
ビル全体の施工の機械化・自動化システム  
自動化施工システムの普及のための改善改良
- **次世代建設施工への先端技術の適用性の研究**  
空間知能化の基礎研究と応用開発

# 私の建築施工自動化への取組み





# 日本における建築施工の自動化・ ロボット化研究開発の経緯

# 施工自動化開発の経緯(1): 清水建設の例

年

1980 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90

基礎研究



耐火被覆吹付

鉄骨梁組立て

サイロライニング



鉄骨自動玉外し

天井パネル取付



コンクリート床仕上



床均し

外壁塗装吹付



# 施工自動化開発の経緯(2): 清水建設の例

年

1990 91 92 93 94 95 96 97 98 99 2000

基礎研究

スマートシステム開発・適用

内装資材搬送

吊荷旋回制御



鉄骨柱溶接



重量物ハンドリング

鉄筋先組み

クレーン作業領域管理

S造超高層以外への展開

簡易地下搬送

アスベスト除去



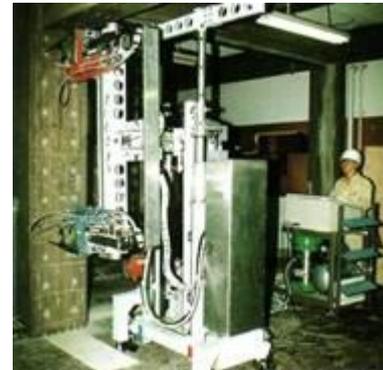
エコ解体

揚重搬送総合管理

# 日本で開発された建築施工用ロボット (1996年: 日本建築学会調査)

Stage	Work	Construction Robots	Number
Structure	Reinforced Concrete	Reinforced bar processing, Reinforced bar assembly, Concrete distribution, Concrete leveling, Concrete finishing	30
	Steel Frame	Frame remote releasing, Erection accuracy measuring and adjustment, Heavy parts handling, Column welding, Girder welding, Fire-proof spraying	25
Exterior Finishing	Exterior Wall	Exterior wall spraying, Multi-purpose wall work, Lifting equipment for PC panel, Lifting and assembling of curtain wall panel, Assembly of glass panel	23
Interior Finishing	Wall	Light weight panel handling, Wall spraying	7
	Floor	Grinding and cleaning of floor surface	2
	Ceiling	Ceiling wall panel placing	5
	Equipment	Ceiling lighting fixtures and piping	3
Maintenance	Inspection	Wall tile exfoliation, Clean room inspection, Ducts deterioration inspection	17
	Cleaning	Glass cleaning	6
	Renewal	Earthquake-proof reinforcement, Wall surface finishing removal	5
Dismantlement	Concrete	Water-jet concrete cutting	3
Common	Transportation	Finishing material transportation	14

# 建築施工用ロボットの開発事例



# 日本で開発されたビル自動化施工システム (2000年)

Structure	Type of Plant		System	Company
SRC	Fixed Plant		AMURAD	Kajima
RC	Lift-up Type Plant	Outer Mast	BIG CANOPY	Obayashi
			NEW SMART	Shimizu
		Mast on Column	SHUTTRISE	Kajima
S/SRC	Lift-up Type Plant	Inner Mast	SMART	Shimizu
		Mast on Column	ROOF PUSH-UP	Takenaka
			ABCS	Obayashi
			T-UP	Taisei
			MCCS	Maeda
			AKATSUKI-21	Fujita
		FACES	Goyo	

# ビル自動化施工システムの開発事例



**SMART system**



**ABCS system**



**T-UP system**



**Roof Push-up system**



**Akatsuki 21 system**



**Shuttrise system**



**Big Canopy system**



**MCCS system**

# 高層ビル自動化施工システムの事例 (SMART System: 清水建設)



名古屋十六銀行  
(1992)



日石横浜ビル  
(1995)



施工プラントの内観

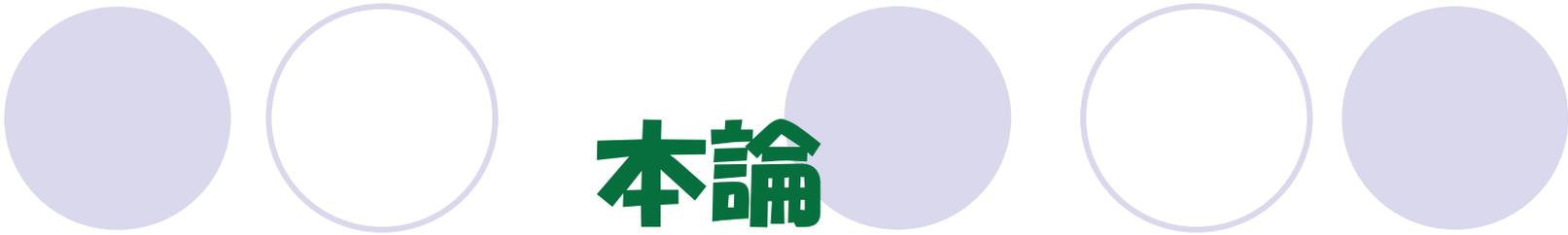
## システムの基本コンセプト:

“A Building is manufactured in a factory.”

全天候技術、自動化技術、工業化技術、情報化技術を統合してシステムの実現

## システムの目的:

- ・建設作業環境の改善
- ・工事の生産性の向上



# 本論

**韓国の建設生産を取り巻く環境**

**韓国の建設自動化の経緯と事例**

**韓国版ビル自動化施工システムの開発**

**今後の技術課題**

# 韓国の建設生産を取り巻く環境

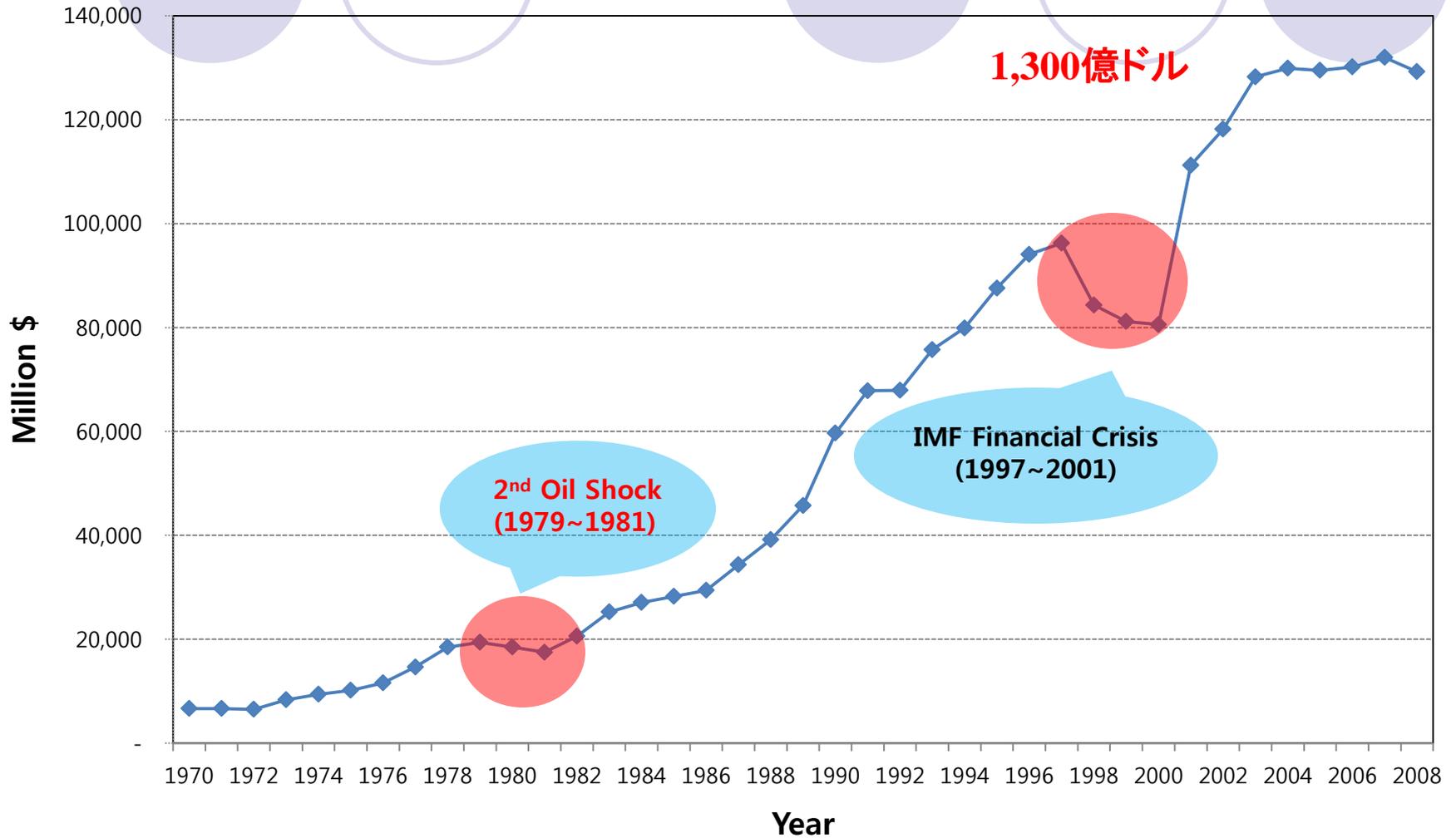
## ● 社会的な背景

- 建設投資の増加と市場
- 少子化・高齢化の急速な進展
- 熟練作業者の減少
- 他産業より高い労働災害

## ● 研究の促進要因

- 政府の建設関連の研究開発助成

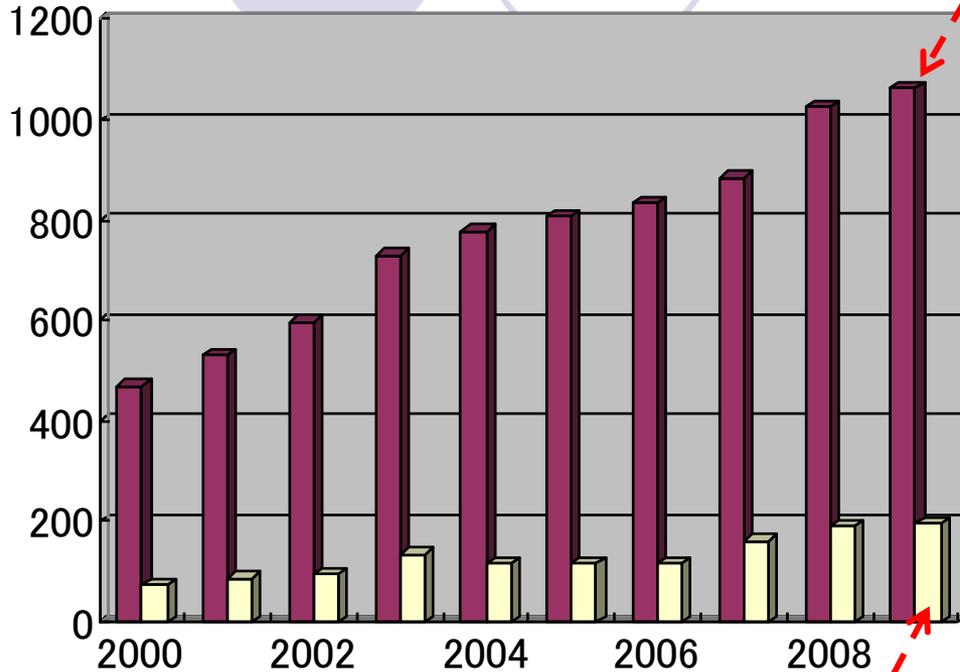
# 韓国における建設投資額の変化



(“<http://ecos.bok.or.kr/>”, The Bank of Korea, 2010)

# GDPと建設投資（日韓比較）

1,063兆ウォン(77.6兆円)

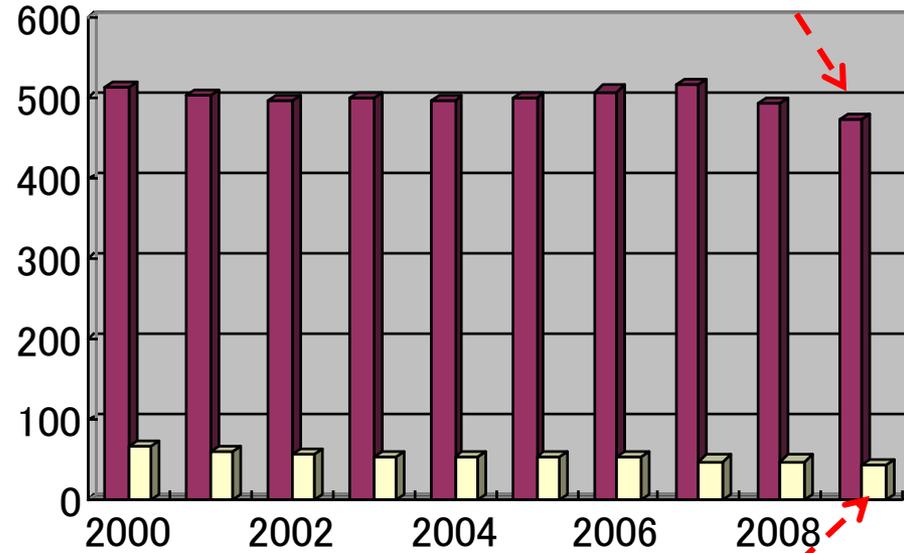


■ 名目GDP(兆ウォン)  
 □ 建設投資額(兆ウォン)

197兆ウォン  
 (14.4兆円)  
 18.6%

(資料:総務省、内閣府、建設経済研究所)の  
 データを基に作成

474兆円



■ 名目GDP(兆円)  
 □ 建設投資額(兆円)

42.4兆円  
 8.9%

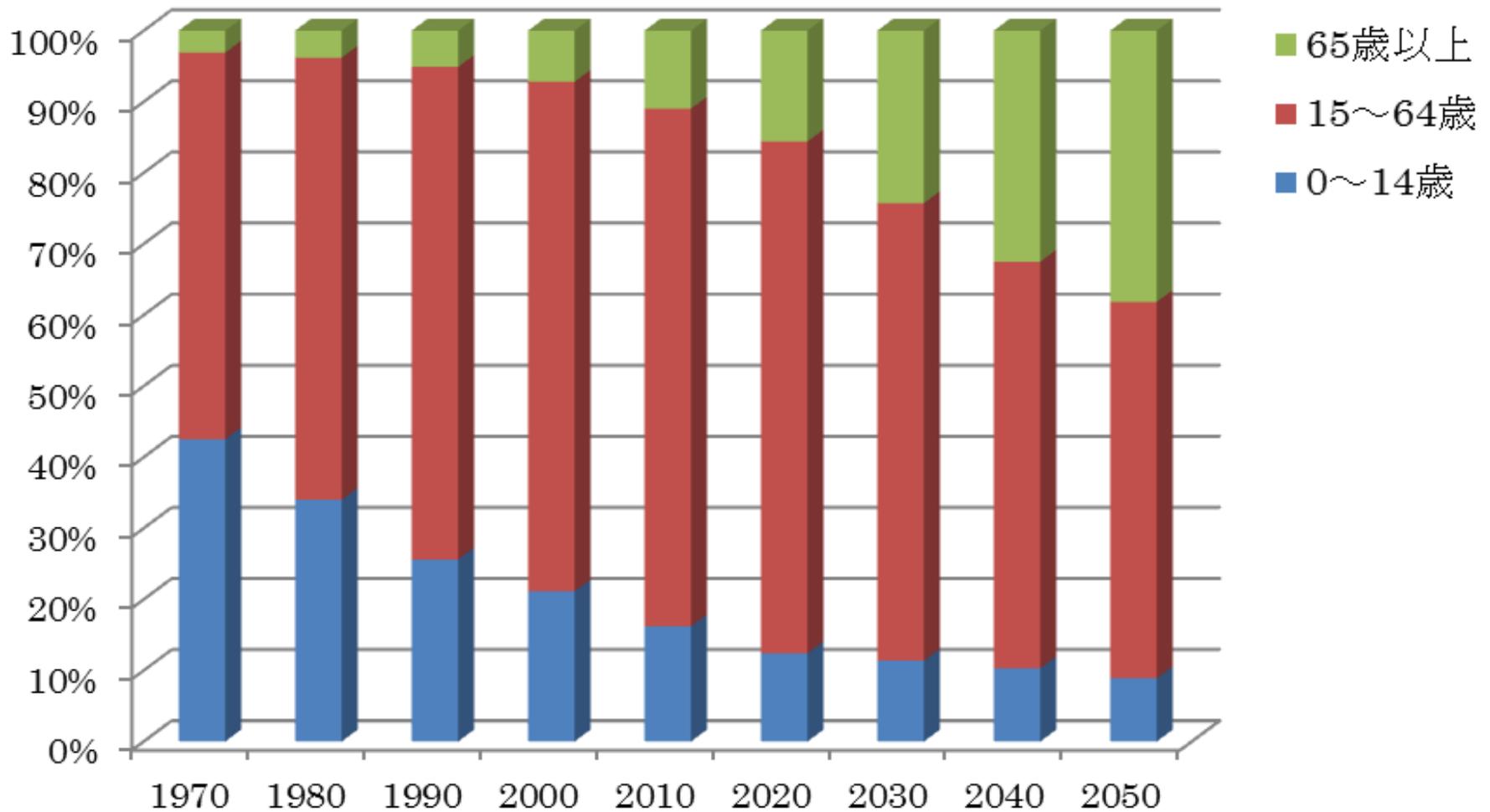
(資料:総務省、内閣府、建設経済研究所)の  
 データを基に作成

# 韓国のリニューアル市場予測

	2000	2010	2020	After 2025
Rate of renewal market in construction market	<b>8~10%</b>	<b>15~20%</b>	<b>25~30%</b>	<b>over 30%</b>
Rate of renewal market in housing market	<b>12~15%</b>	<b>20~25%</b>	<b>30~35%</b>	<b>over 35%</b>

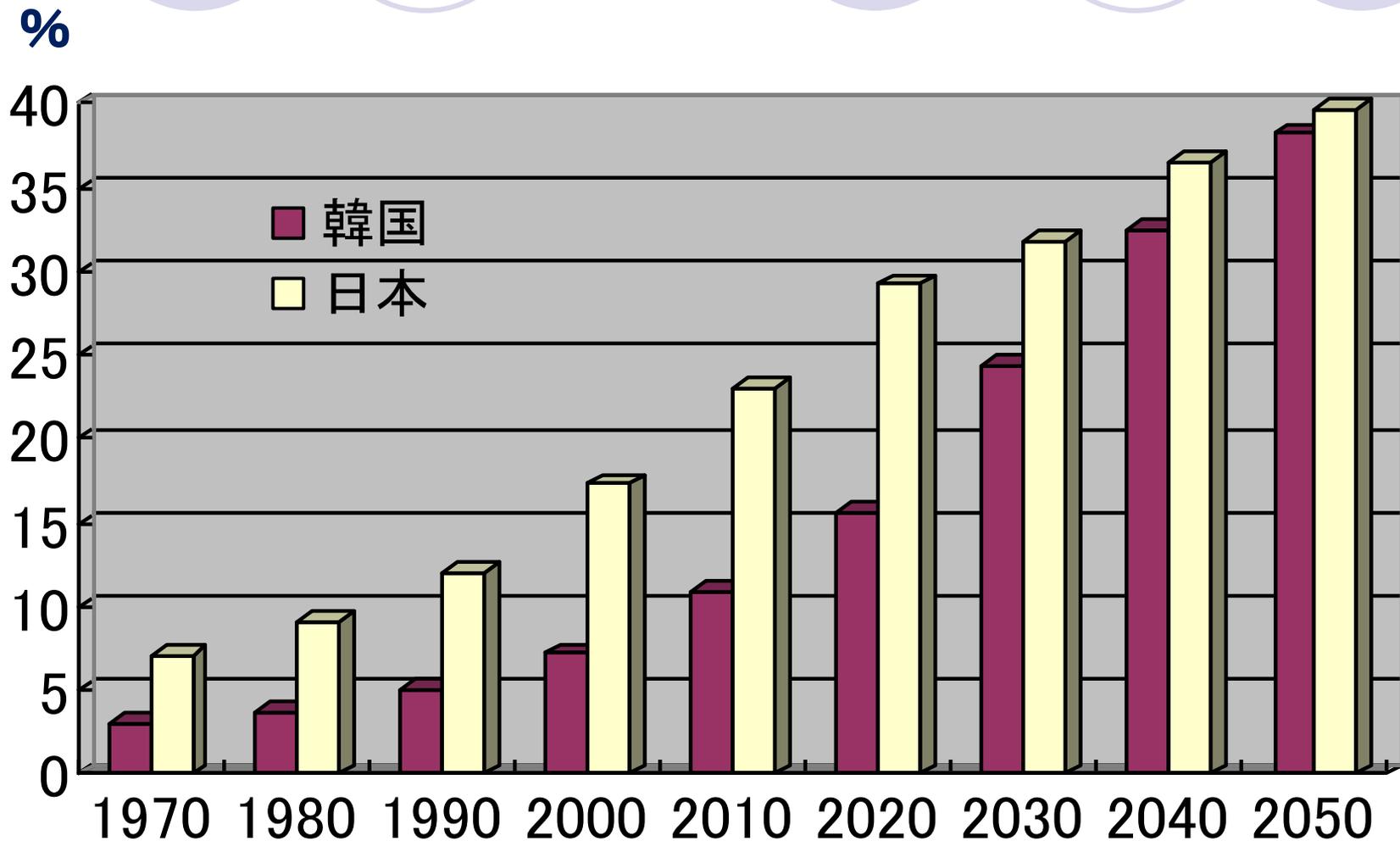
Source : “Prospect of Policy and Market in Apartment House Remodeling”, Samsung Economic Research Institute, 2007

# 韓国の人口構成比の推移



資料:統計局「人口推計」、統計庁「将来人口推計」

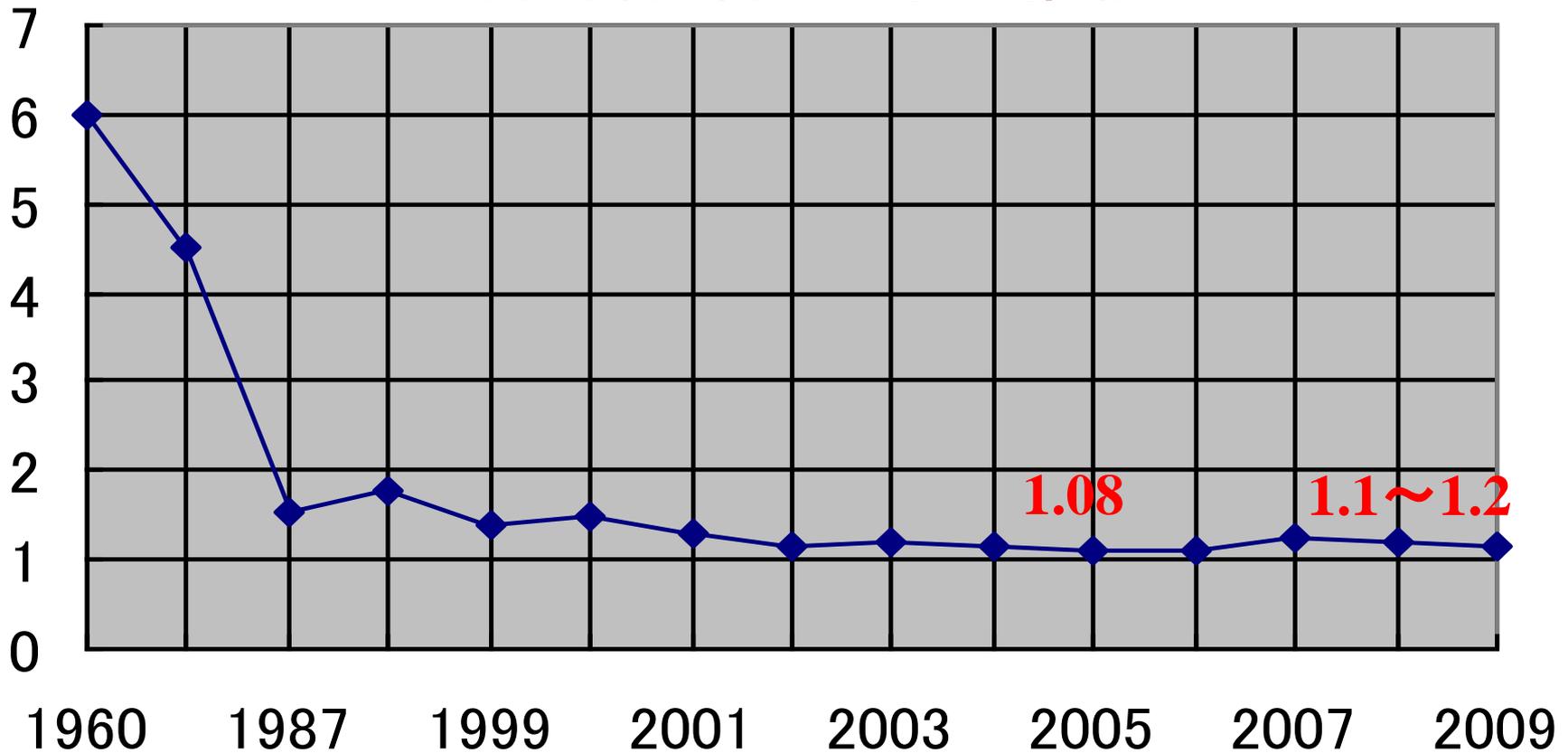
# 高齢者比率の推移予測、日韓比較



資料:統計局「人口推計」、統計庁「将来人口推計」のデータに基づき作成

# 韓国の少子化の状況

## 合計特殊出生率の推移



Source: Birth Statistics in 2009 (Statistical Korea) ( 1960 ~ 1992を追加 )

# 韓国における建設労務の動向

## 建設投資と熟練工の乖離



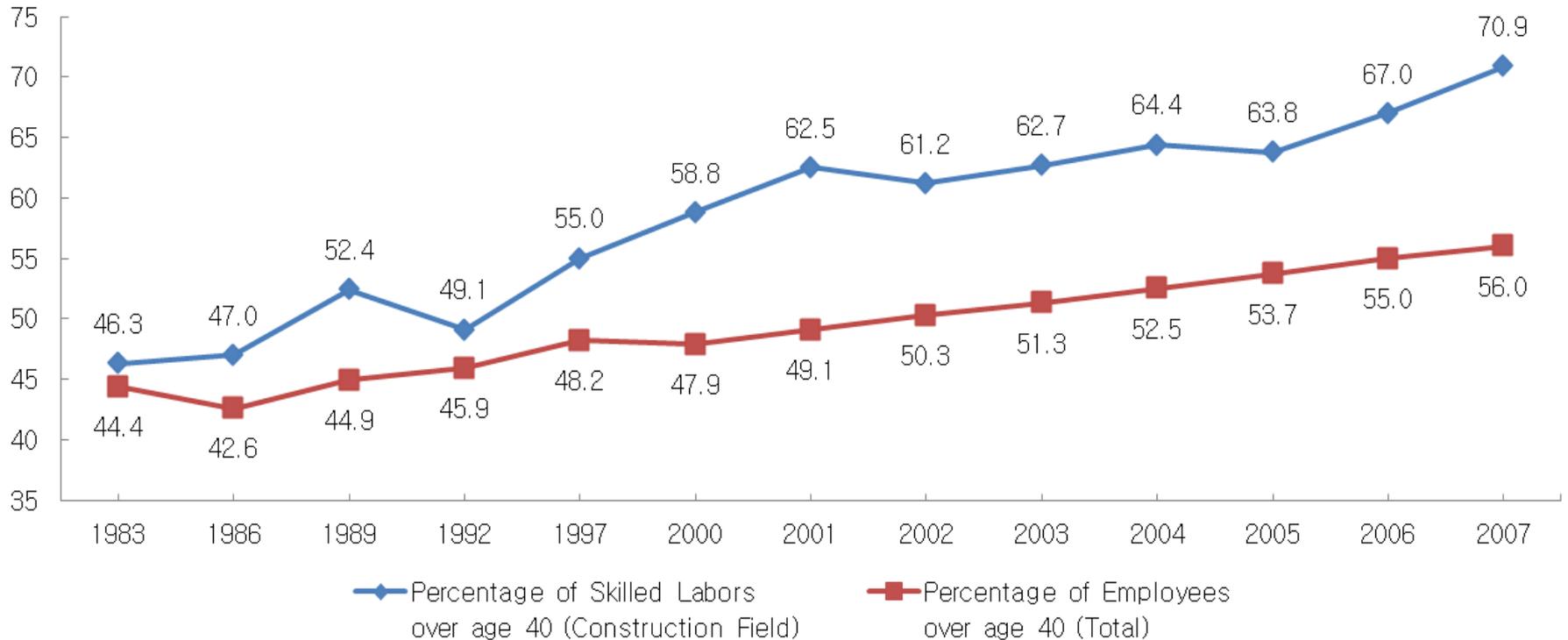
*Investment of the Construction Industry  
and Sensitization of Skilled Labors in Korea*

1	Sales	( 18.8 %)
2	Production	( 10.2 %)
3	Simple Work	( 7.6 %)
4	Insurance Sales	( 6.3 %)
5	Tele-Marketer	( 5.5 %)
6	Service	( 5.2 %)
7	<b>Construction Worker</b>	<b>( 4.7 %)</b>
8	Marketer	( 3.4 %)
9	Contract-Dispatched	( 2.9 %)

*Ranking of Evasion Jobs*

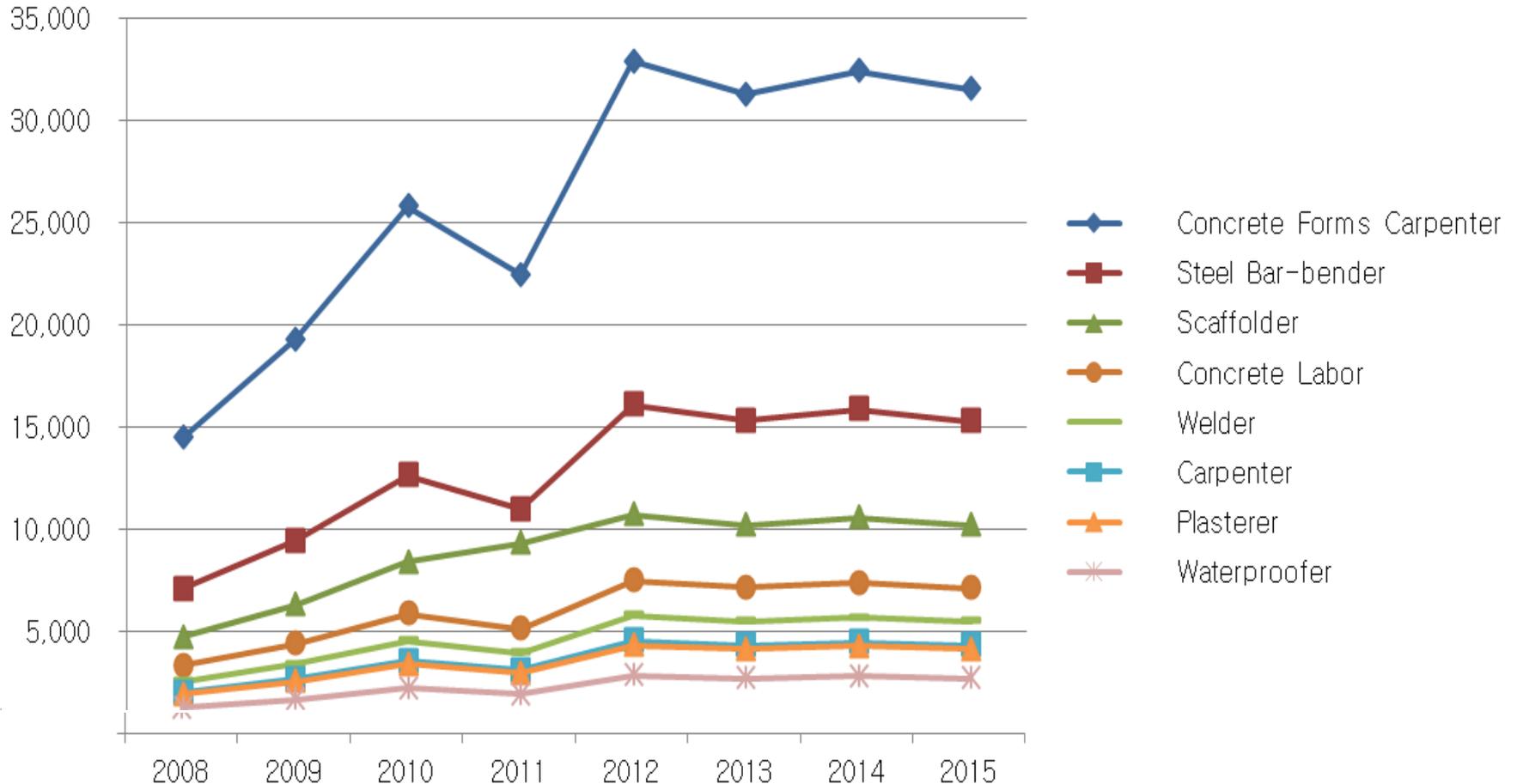
Quoted from a presentation by Dr. Cho, Moon Young, President of IAARC

# 熟練作業者の高齢化



Source : “A Study on New Urban Development Impact on Demand of Building Materials and Construction Labor ”, Ministry of Land, 2005

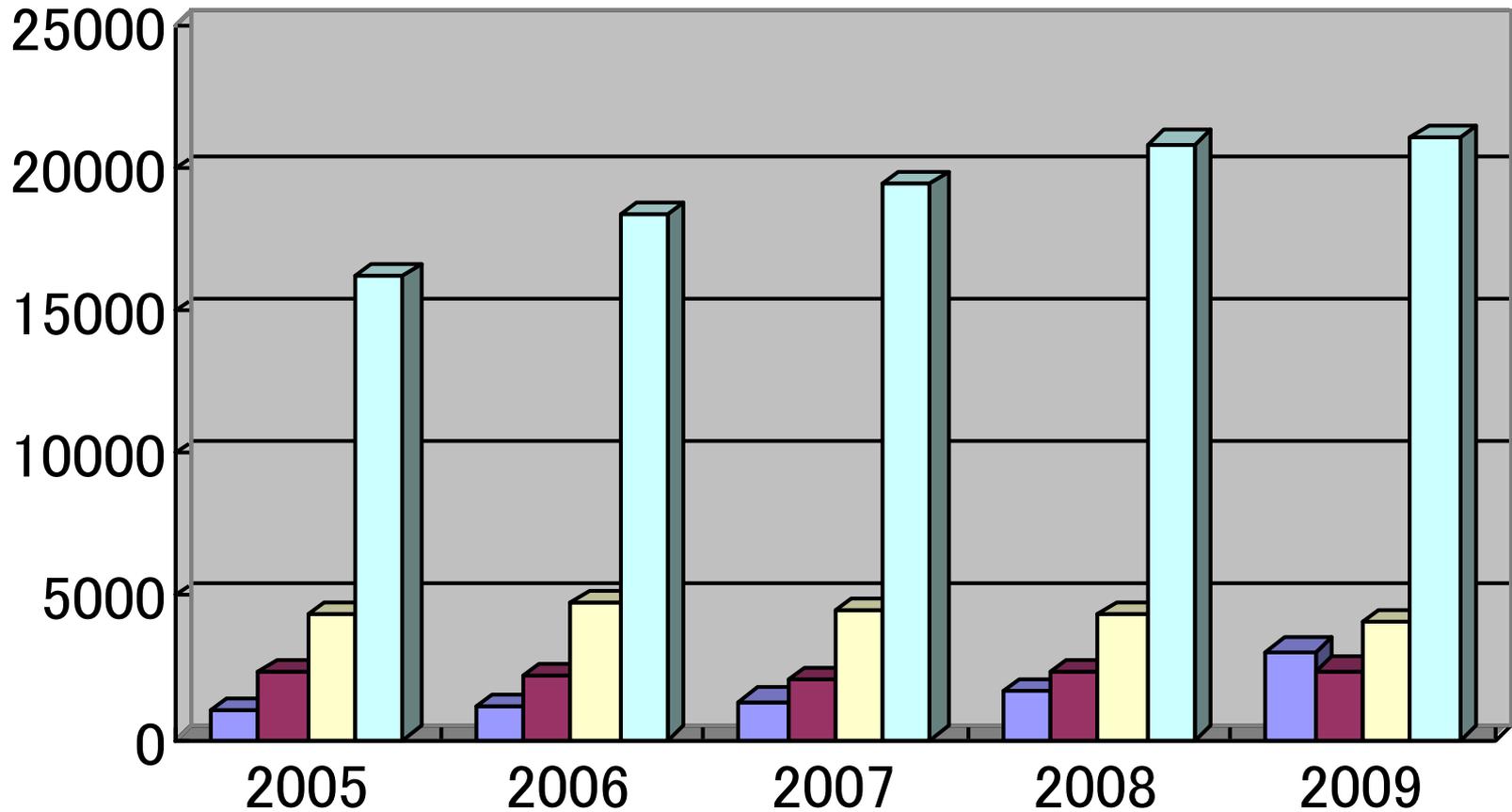
# 熟練作業者の不足



Source : “A Study on New Urban Development Impact on Demand of Building Materials and Construction Labor ”, Ministry of Land, 2005

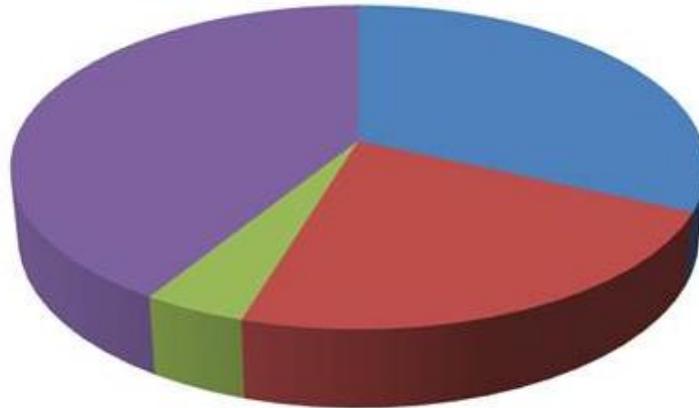
# 建設現場における労働災害

- 林業
- 造船業
- 運輸・倉庫業
- 建設業



Source: Labor-Accident Fluctuation in Korea(2005~2009)

# 労働災害の他産業比較

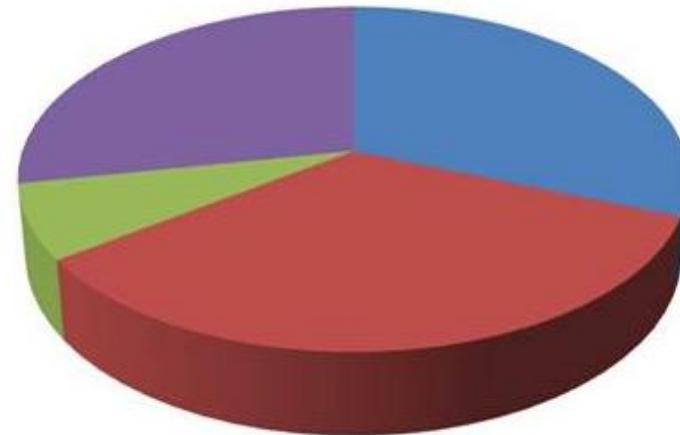


■ 製造業	34%
■ 建設業	22%
■ 運輸・通信業	4%
■ その他	40%

建設業の就業者数は、全就業者数の約8%

労働災害全体の他産業比較

■ 製造業	31%
■ 建設業	34%
■ 運輸・通信業	7%
■ その他	28%

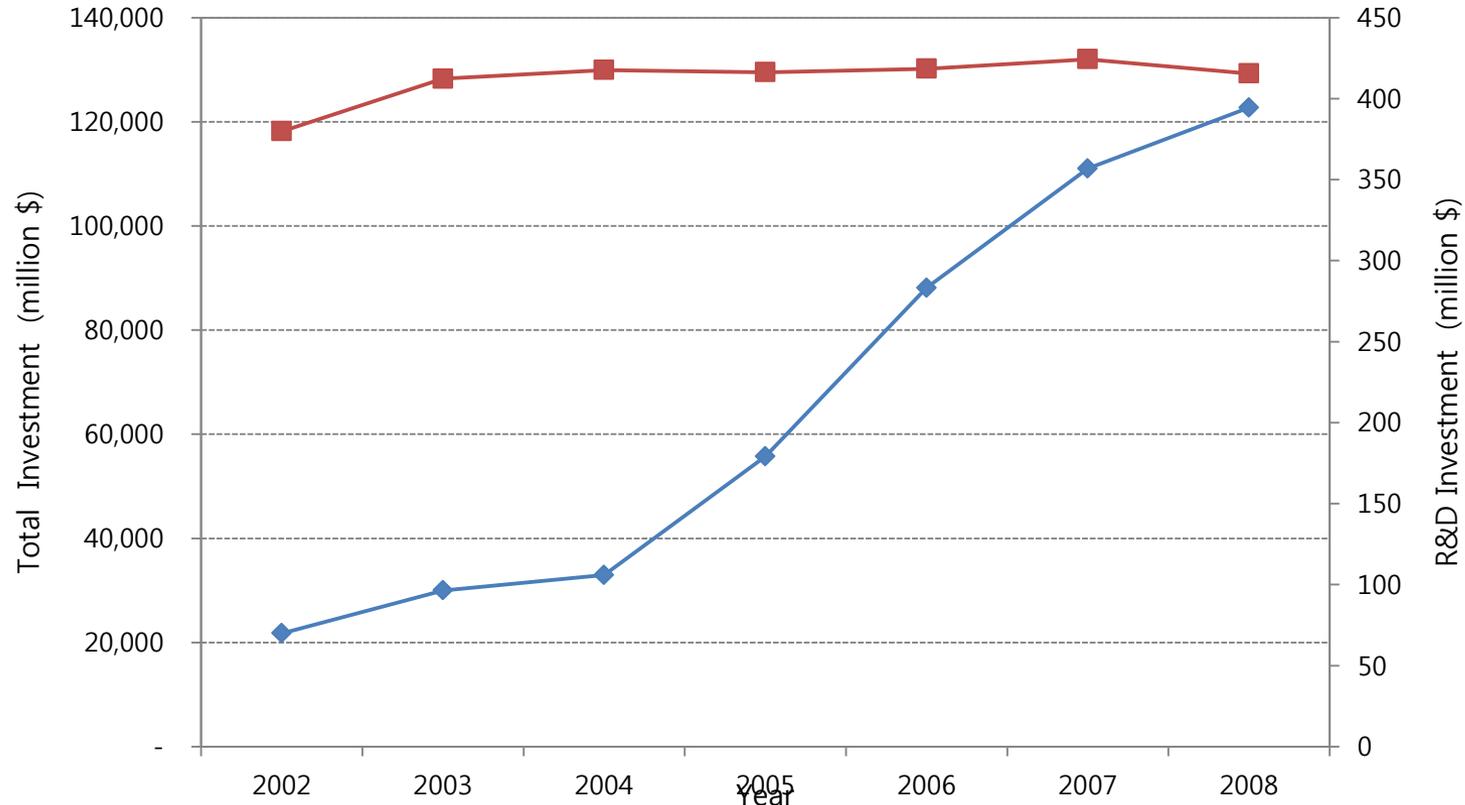


重大災害(死亡事故)の他産業比較

Source: KOSHA (Korea Occupational Safety & Health Agency)  
Industrial Accidents Current State Report 2009

# 政府の建設研究開発投資の増大

4 億ドル (2008年)

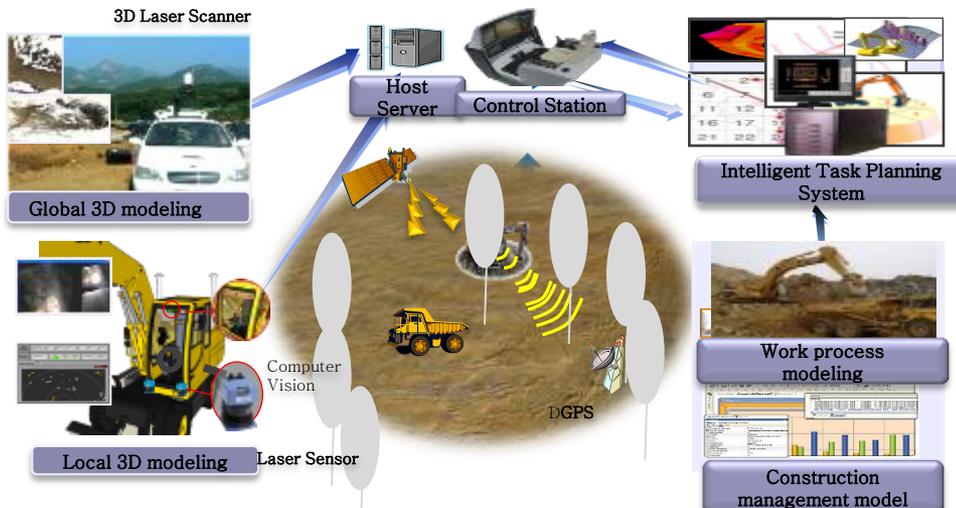


Source: "R&D Investment on construction", MLTM, 2008

# 国の助成による建設自動化研究開発例

	Intelligent Excavation System	Construction Automation System of High-rise Building	Intelligent Robot System for High-rise Building Maintenance
Main Researcher	KICT and 2 others	<b>Korea Univ. and 3 others</b>	KICT and 9 others
Duration	2006.12. - 2011.11. (59 months)	<b>2006.12. - 2011.10.</b> (58 months)	2010.07. - 2015.05. (58 months)
Budget	13 billion KRW (10 million USD)	<b>22 billion KRW</b> (18 million USD)	9.5 billion KRW (7.9 million USD)

Exchange rate : 1 USD = 1,200 KRW



Quoted from a presentation by Dr. Cho, Moon Young, President of IAARC

# 韓国における建設ロボット化研究の経緯

Early 2000s

Middle 2000s

Late 2000s

Future

## ■ 基礎的研究開発

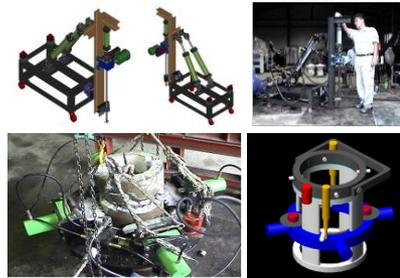


Automated Crack Sealer  
(2001~2003)



Embedding Hume Concrete Pipe Device  
(2000~2004)

## ■ 個別作業自動化の研究開発

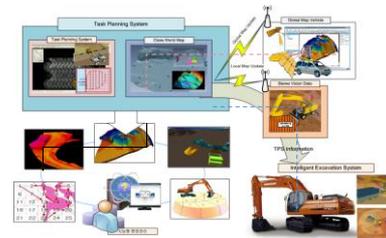


Automated PHC Pile Equipments  
(2002~2005)



Road Stripe Removing Equipment Using Water Jet  
(2004~2005)

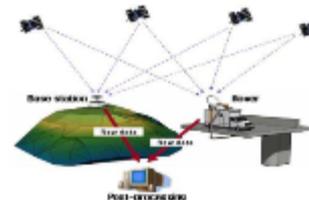
## ■ ITとの融合、統合化



Intelligent Excavation System  
(2006~2011)

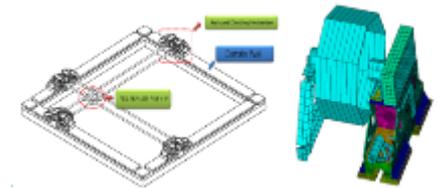


Automatic Construction System  
(2006~2011)



Advanced robot systems for automated bridge  
inspection and maintenance (2005-2009)

## ■ IT と RTの融合、作り方、設計



Intelligent robot systems for maintenance &  
management of curtain wall  
(2010-2015)



Wearable Robot for Construction Labor  
(Planned)

Quoted from a presentation by Dr. Cho, Moon Young, President of IAARC



# 韓国における研究・開発事例紹介

## **個別作業の自動化**

PHCパイル杭頭切断システム

人・ロボット協調のカーテンウォール取付システム

## **複合的システムへの取組み**

高層ビル自動化施工システム

高層ビル外壁メンテナンスシステム

# PHCパイルの杭頭切断システム



## 従来作業の問題点

コストアップ

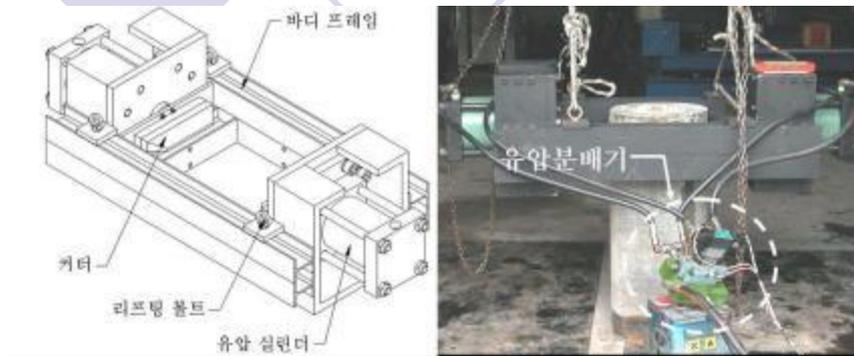
労務量の増大

作業品質のばらつき

労働災害のリスク増大

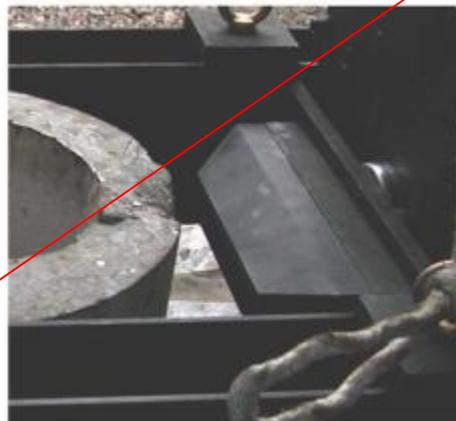
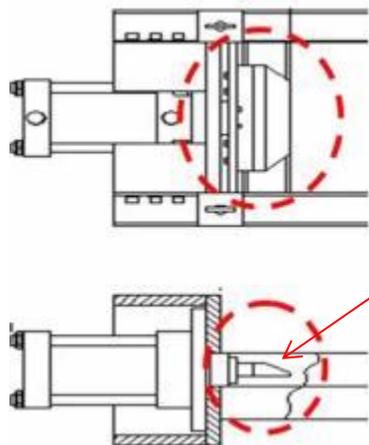


# 杭頭切断自動化装置の開発



クラッシャー装置を相対する2方向に配置した。

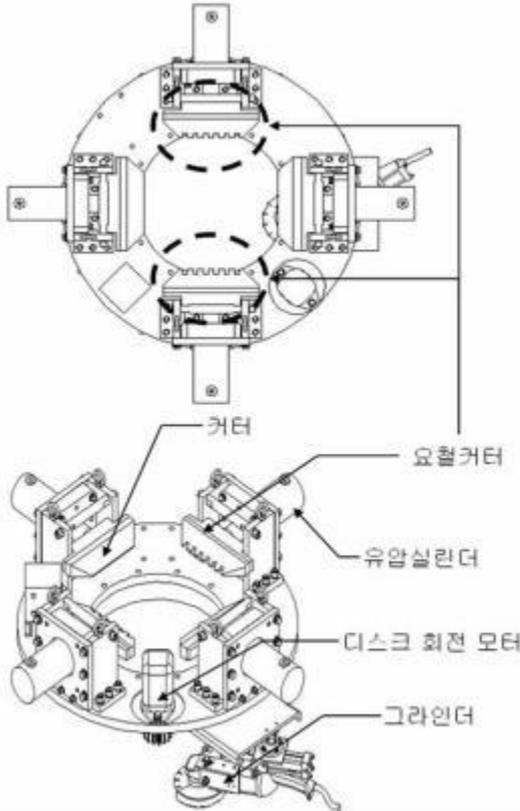
縦方向にクラックを少なくするために、テーパ付ブレードを採用した。



しかし、2方向からの切断では、縦方向に多数のクラックを発生した。  
ブレードを4方向に配置するように改善。

切断実験の結果

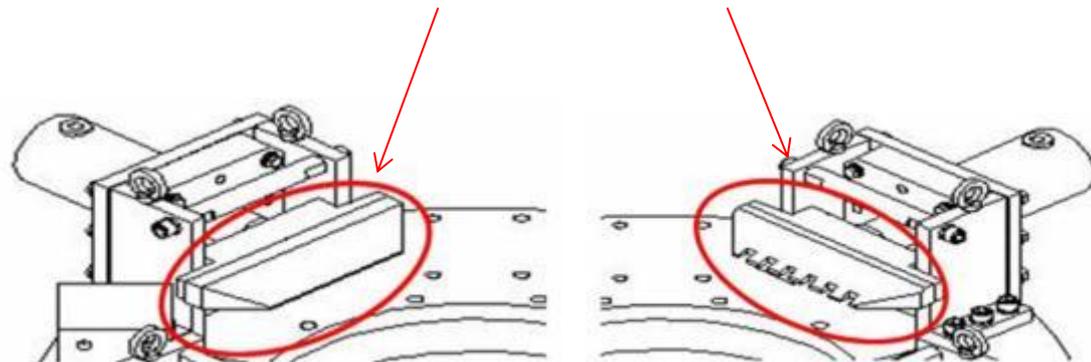
# 杭頭切断装置の改善・改良



縦方向のクラックは  
ほとんど消滅

2種類のブレードの採用  
-Mono blade, Saw blade

4方向からクラッシャー装置  
を自動的に作動させる。



# プロトタイプによる現場検証



開発された切断装置  
のプロトタイプ



バックホウに取り付け  
られたプロトタイプ

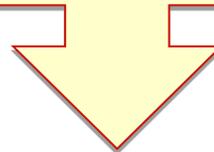
# 協調型のカーテンウォール取付システム

## 従来作業の問題点



従来の手作業によるCW取付け

- ◆ 複雑で危険の多い資材の取付け作業
- ◆ 不十分な作業用の道具を使い、作業員の判断に依存



- ◆ 当初開発された装置は、市販の小型掘削機と多自由度のマニピュレータを組み合わせたものであった。
- ◆ このシステムにより、従来の手作業に比べて取付作業はより容易になった。

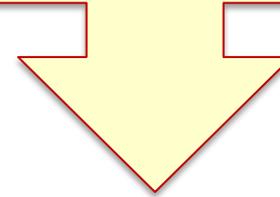
掘削機を活用したマニピュレータによる作業システム案

# 自動化作業システムの改善



ASCI (Automation System for Curtain-wall Installation)  
(漢陽大学)

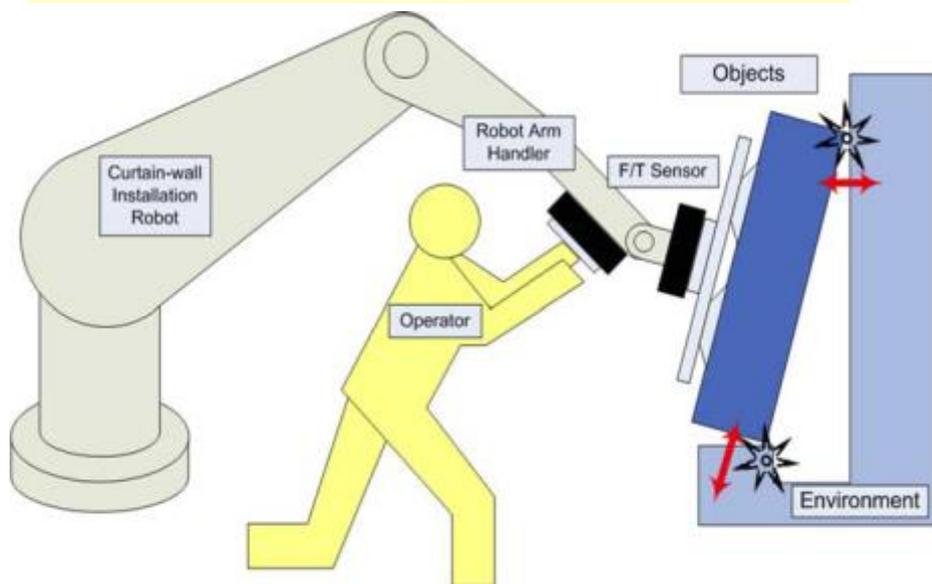
- ◆ このシステムは、漢陽大学によって研究開発され、ASCI(Automation System for Curtain-wall Installation) と称する。
- ◆ このシステムによる取付けには、機器の操作方法で問題が残った。



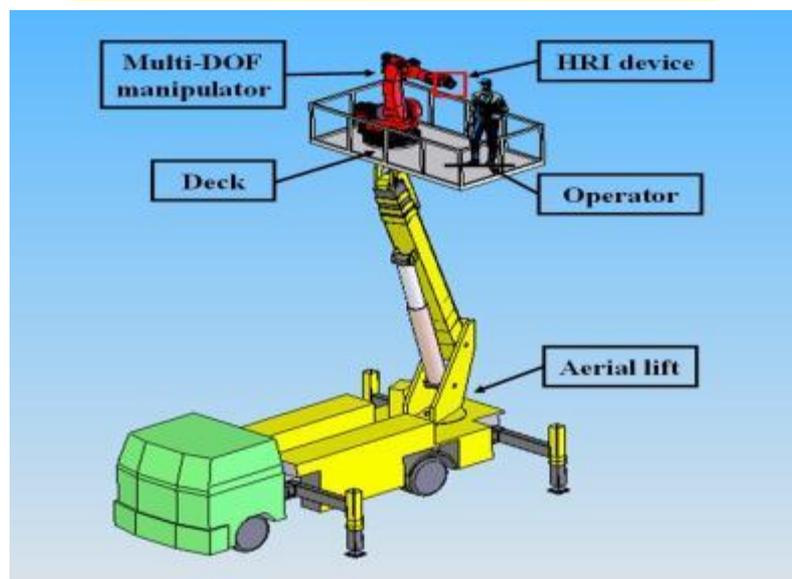
- ◆ このシステムは使い易いものではなかった。カーテンウォールは、いわば、力づくで移動されるので、建物側と急にぶつかることもあった。
- ◆ そこで、**Human Robot Cooperation** の考え方を採用し、自動化によりオペレータを支援するシステムを目指した。

# 改善システムの基本的なコンセプト

## Human-Robot Cooperation (HRC)



## HRC Systemの構成



## HRCシステム開発の狙い

- 建築現場のいろいろな作業で、作業者が思うように操作できる。
- 作業者と機械が同じ空間で作業する。
- 作業者の力とロボットの大きな力を協調させる。
- 作業者の器用さを生かすことのできる操作方式を実現する。

# 開発したHRCシステムの現場実証

重量物を搭載し、作業場所に持上げる



重量物を取付け、仕上げ作業を行う



## H.R.C systemのテスト作業プロセス

- 開発されたロボットを搭載した昇降リフトを作業地点に配置する。
- リフトのデッキにガラス天井ユニットを乗せる。
- そのガラスユニットを把持して天井フレームのところに運ぶ。
- ガラスユニットを取付け、仕上げ作業を行う。

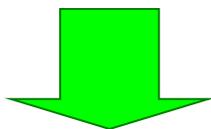
# 韓国版ビル自動化施工システム

## 開発方針:

1. コア先行工法を採用
2. 既存技術の活用
3. 部分的な自動化

## 開発目標:

1. 自動化 労務費削減
2. 全天候化 工期短縮
3. TC知能化 効率向上



## 実施項目:

1. CF (Construction Factory) の軽量化 (コア先行前提)
  - ・構造モデル化、シミュレーション評価、選定
2. 既存技術の活用
  - ・ジャッキアップ同調制御、RFIDタグによるTC搬送知能化
3. 部分的な自動化
  - ・ボルト締めロボット: 作業機構、移動方式、遠隔操作
  - ・自動化適合ジョイント: 大梁ジョイント部のデザイン

# 高麗大学システム実証施工状況



研究開発サブリーダーの趙先生



国から4年間で、1,800万ドルの助成金を  
受けて研究開発。

建築工学科、機械工学科、電子工学科の  
学内共同研究体制で取り組み。

# システム設計の条件設定(1)



## 事例:ソウル市庁舎建築工事

鉄骨の接合は、ボルト締めが多い。

溶接は非常に少ない。

施工は、サムソン建設

## システム設計の条件設定(2)

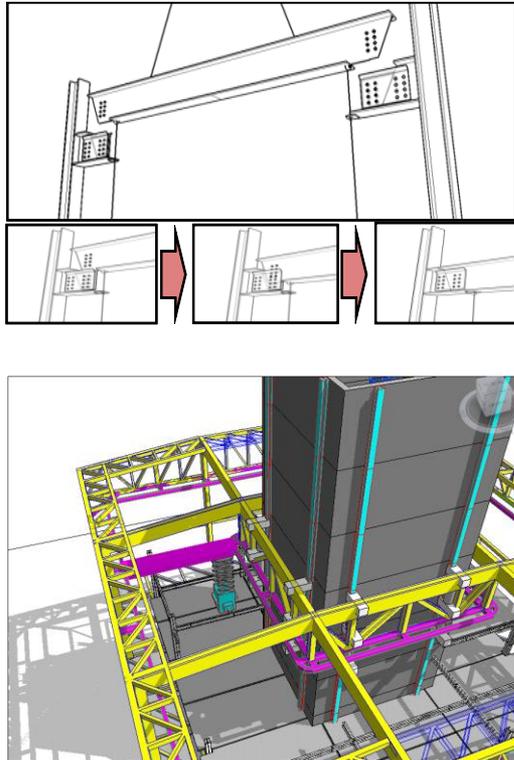


ソウルで見かけた在来現場の様子。

RCコアウォールを先行している。韓国ではポピュラーな工法である。

# RCA (Robotic Crane-based Automatic) 施工システムの構成

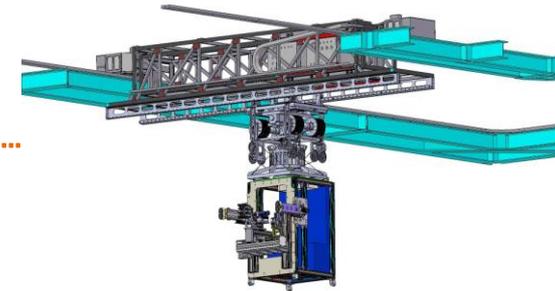
(a) 部材供給システム



(d) CF(施工プラント)

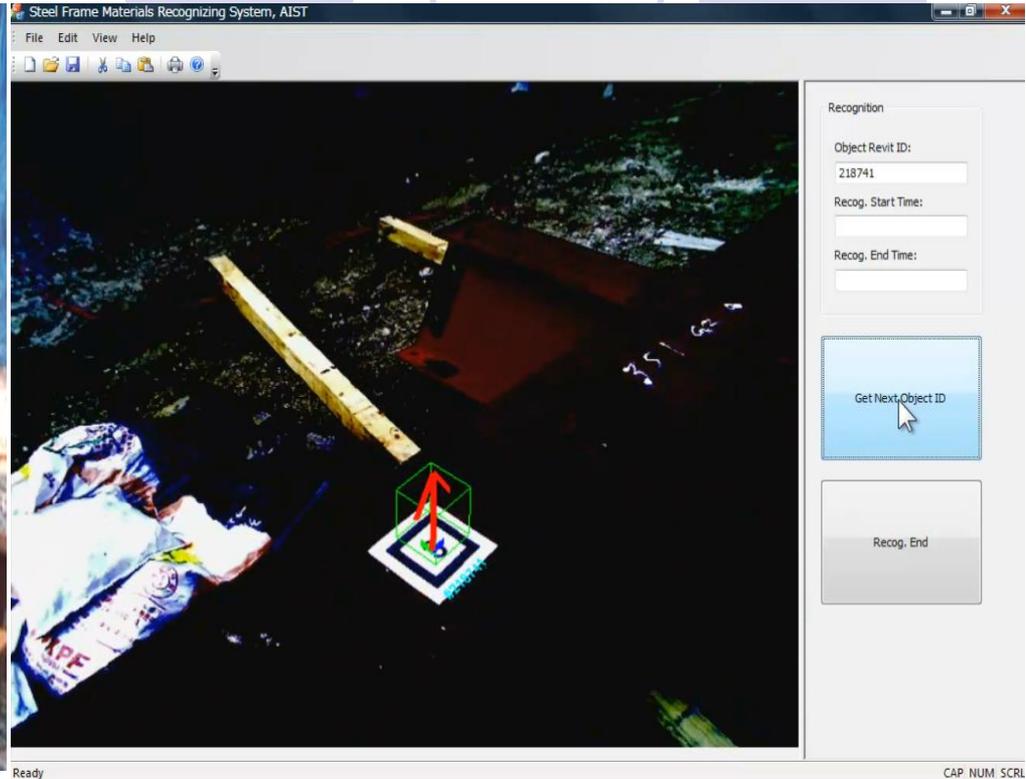


(b) 梁組立システム



(c) 監視・制御システム

# (a) 部材供給システム



揚重部材に設けたRFIDタグ  
(部材識別と設置位置情報)

RFIDタグによる部材情報の獲得

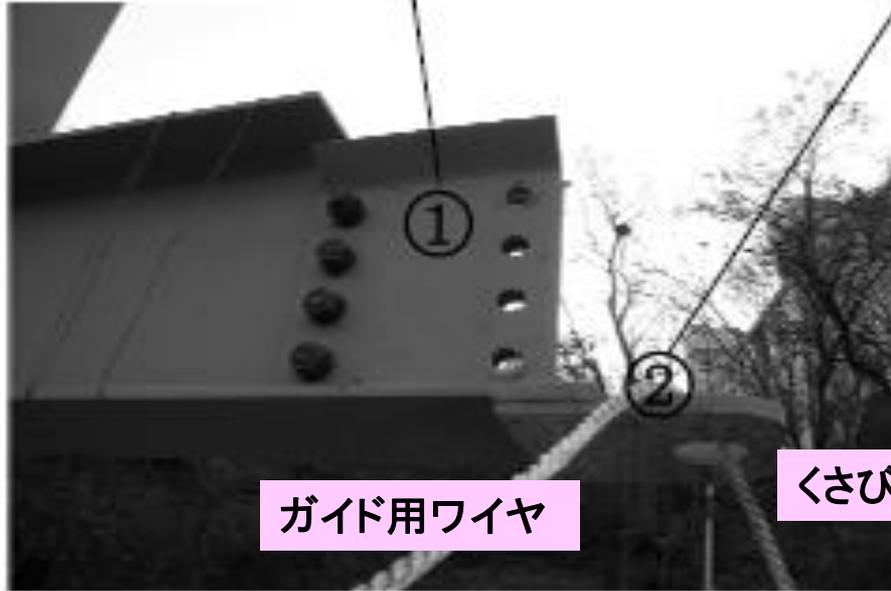
→ 運転経路生成

→ オペレータへ情報伝達

→ クレーン運転(自動運転は行わない)

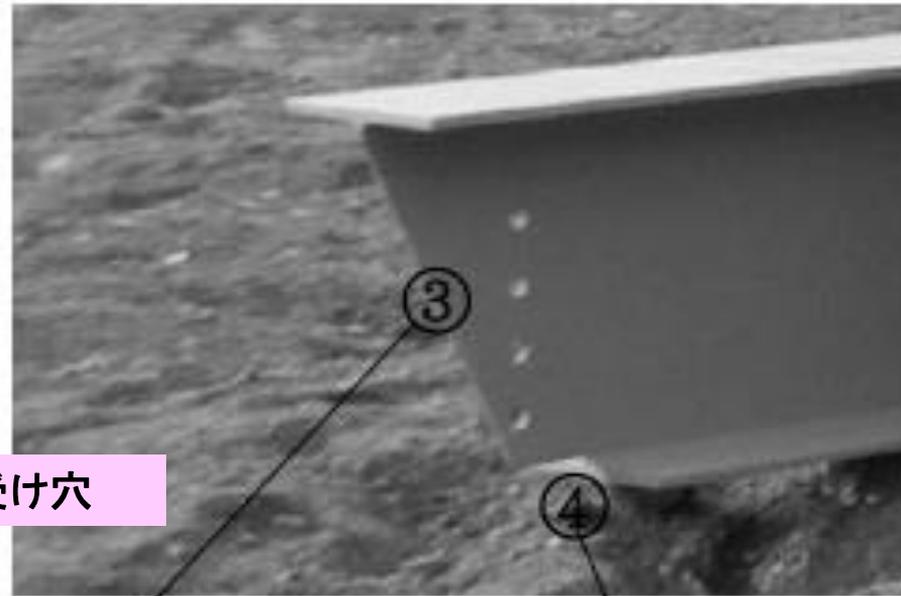
# 自動化施工のための梁のデザイン

Y型の面外ガイドプレート



ガイド用ワイヤ

くさび式位置決めジョイント方式

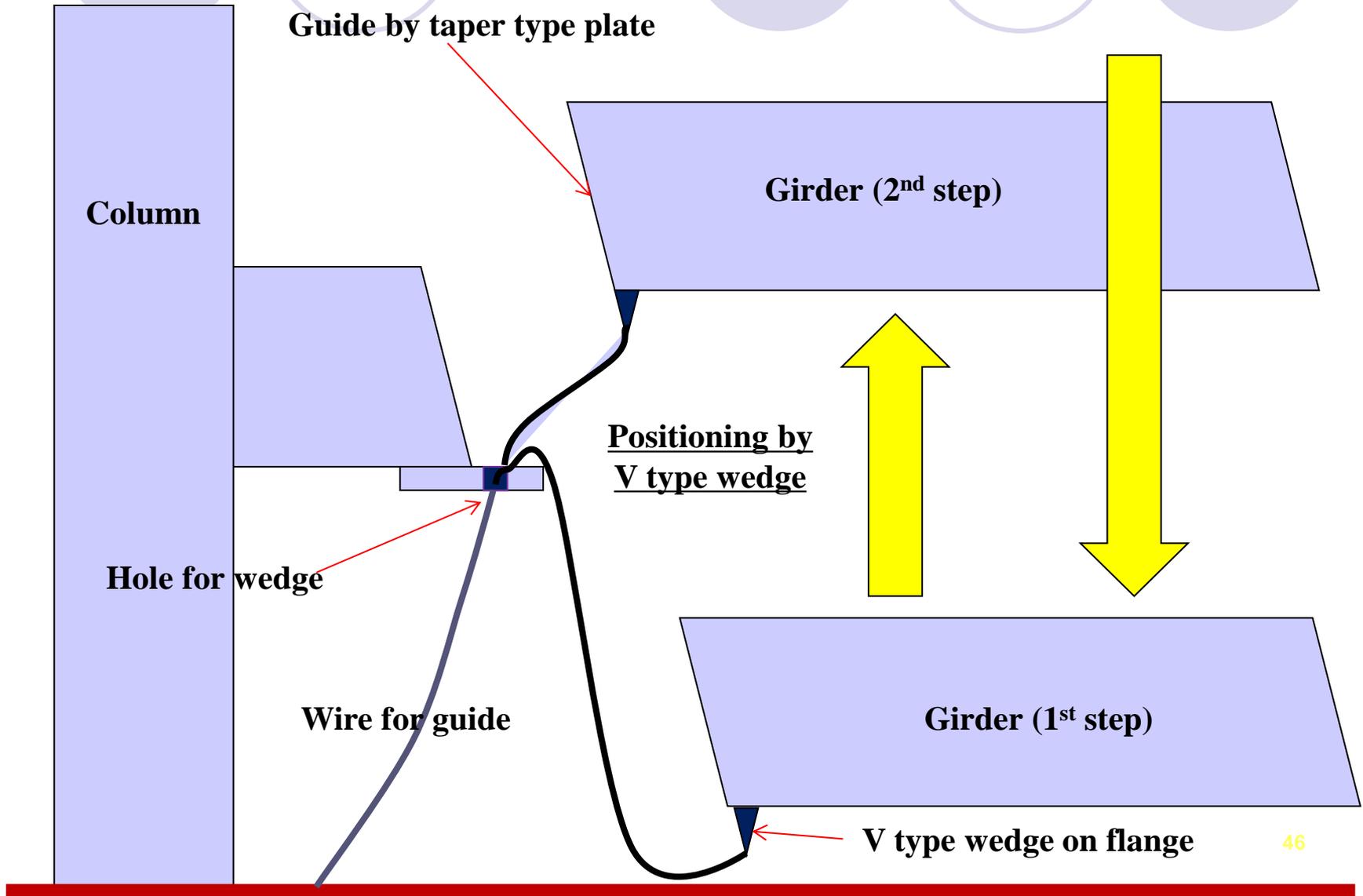


くさび受け穴

テーパ型プレートによる面内ガイド

フランジに設けたV型くさび

# 梁の位置決め・据付方式



# 梁の搬送位置決め



タワークレーンで梁を吊ってくると、屋根養生が一部開く。

1本当たり、1.5～3.0分短縮

受梁ブラケット:

ウェブはテーパPL。面外方向は、Y型のガイドPL。

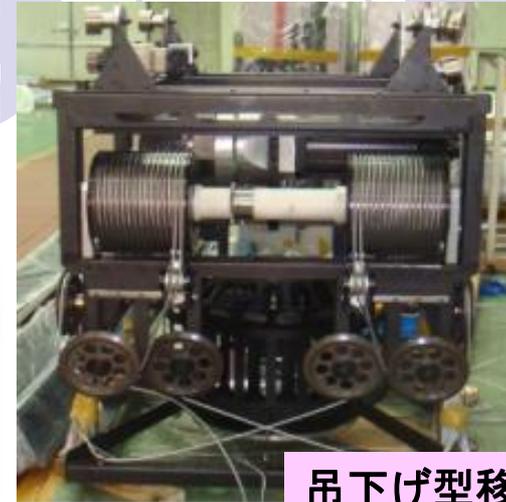


梁のくさびに付けたガイド用ワイヤをブラケットのくさび受け穴に通し、引っ張って位置決めする。

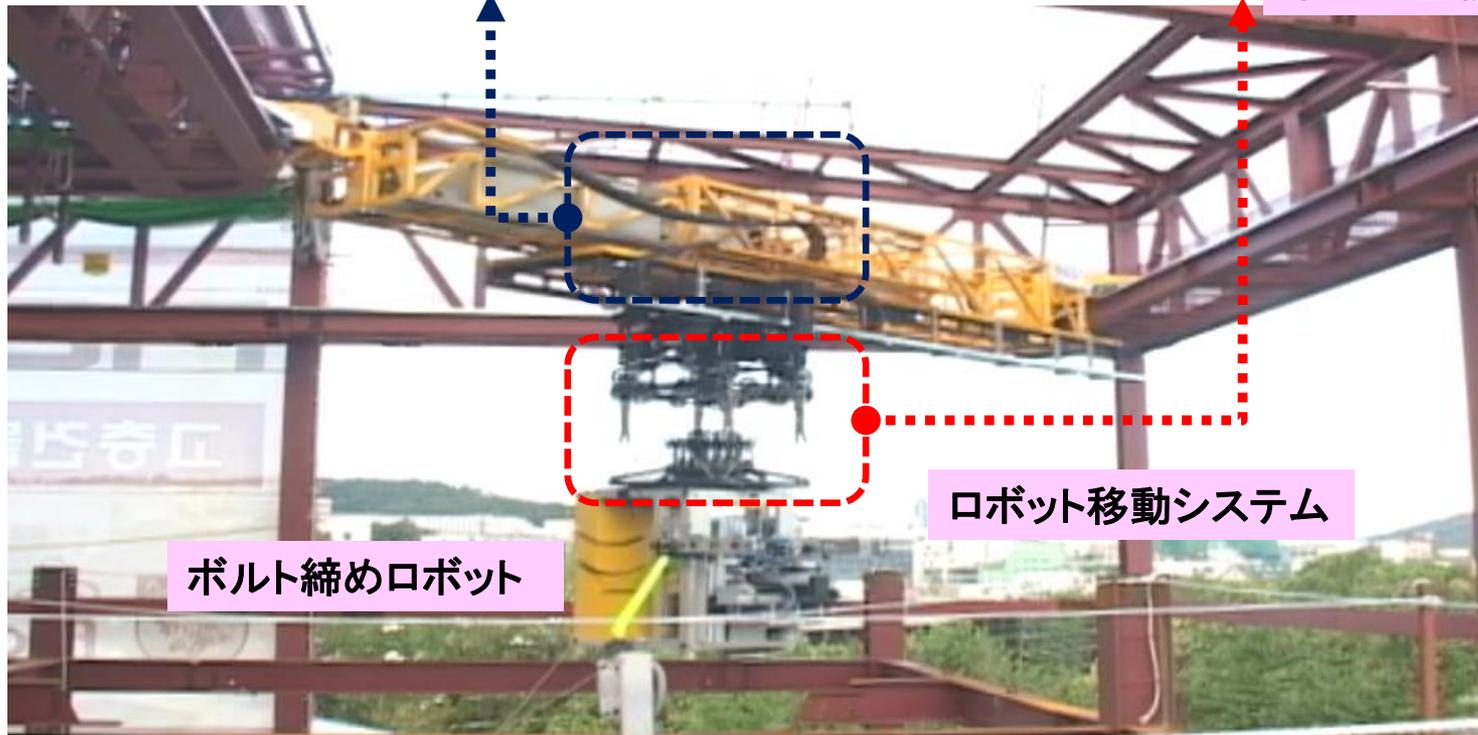
## (b) 梁の組立システム



走行レールシステム



吊下げ型移動装置



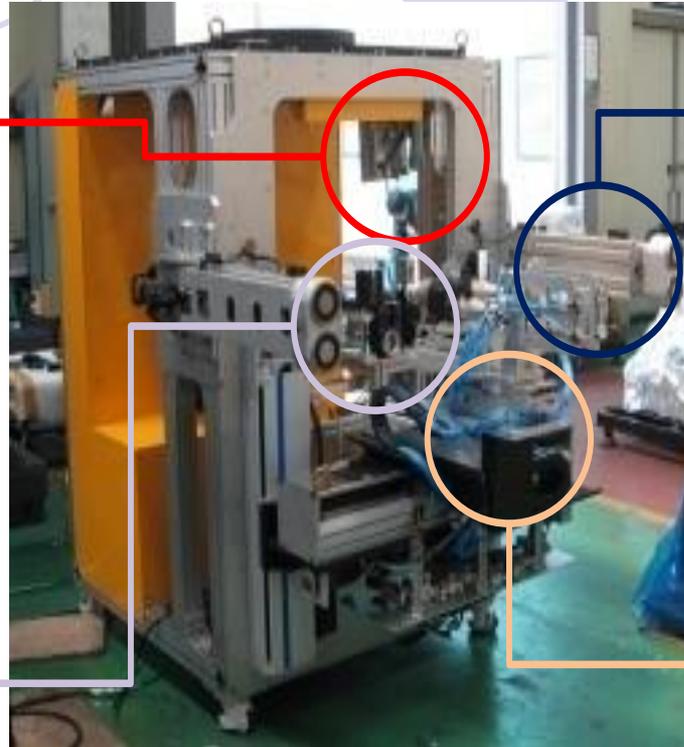
ボルト締めロボット

ロボット移動システム

# 梁のボルト締め自動化



オペレータ支援システム



ボルト締めロボットシステム



ロボットの梁への保持装置



人・ロボットインターフェイス



ボルト締めエンドエフェクタ

システムの構成要素

# ボルト締め作業のフロー



ボルト締め前の状態



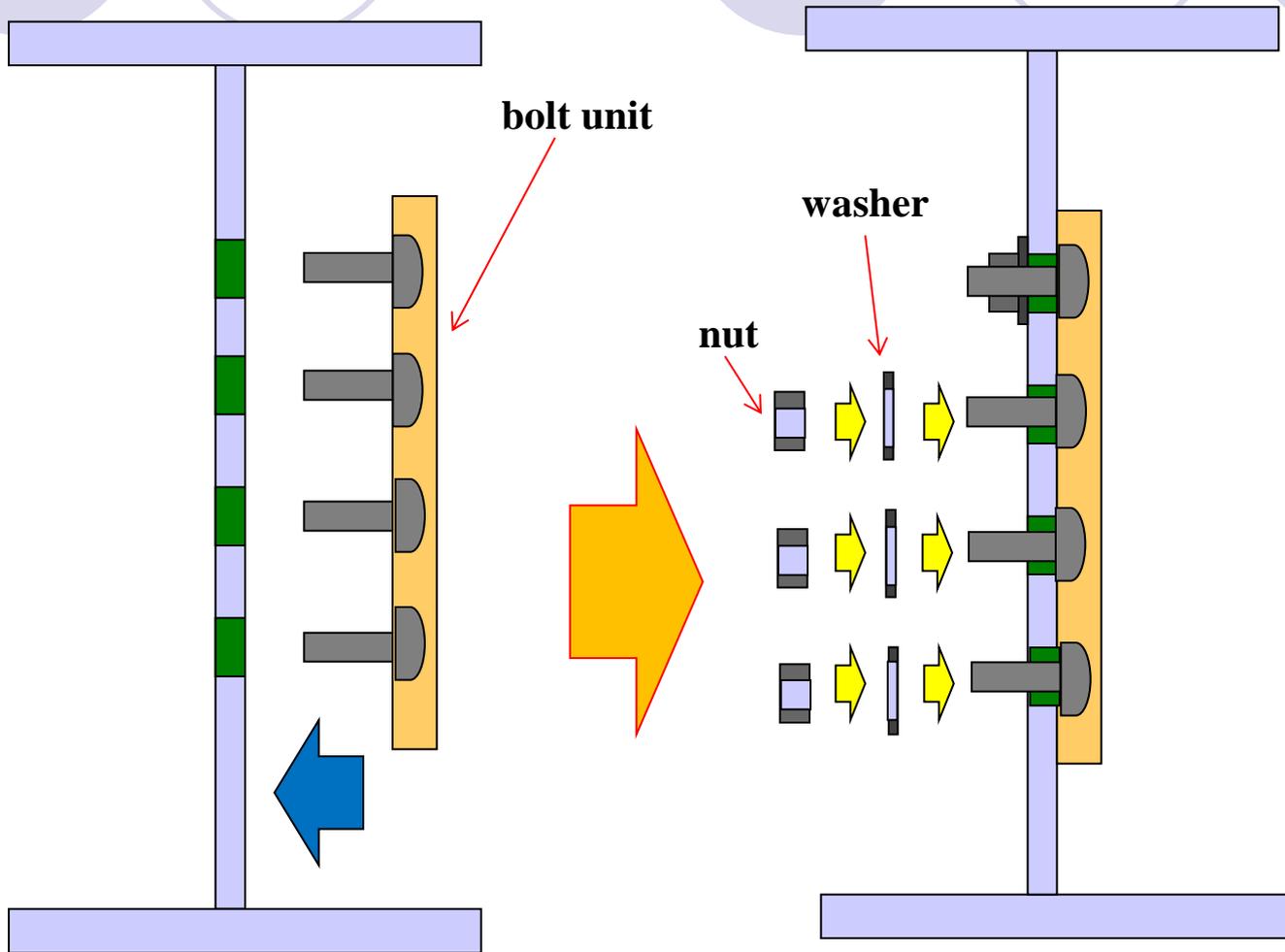
ボルト締め完了後



ボルトユニットが取り付けられた状態。ボルトが4本挿入されている。



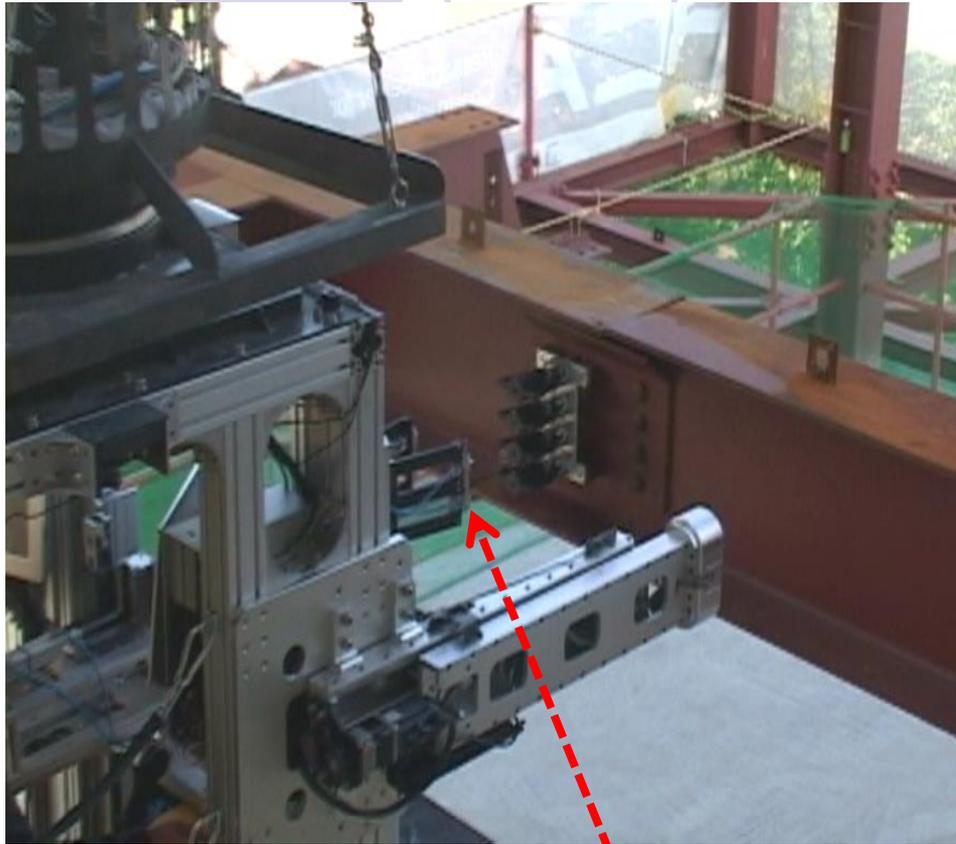
# ボルト取付け・締付けの考え方



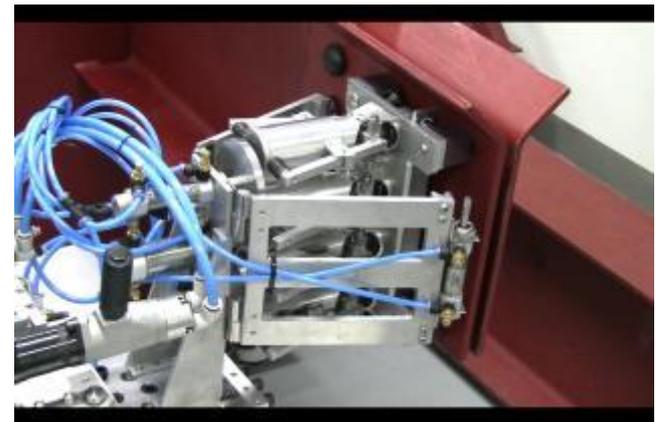
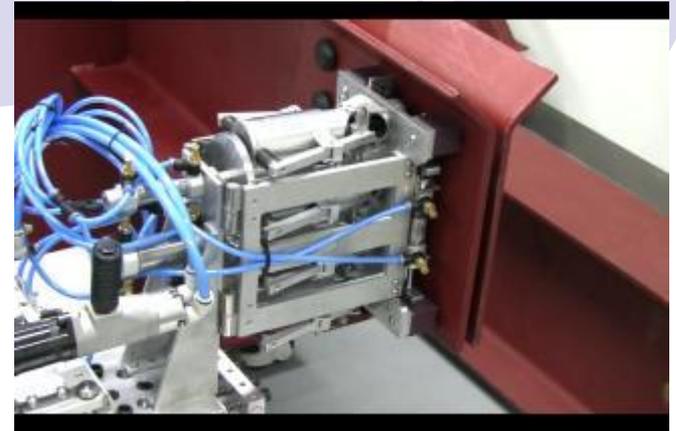
4 bolts are supplied by the bolt unit.

Insertion of washer and nut

# ボルト取付けの作業状況



ボルトユニット取付けエンドエフェクタ



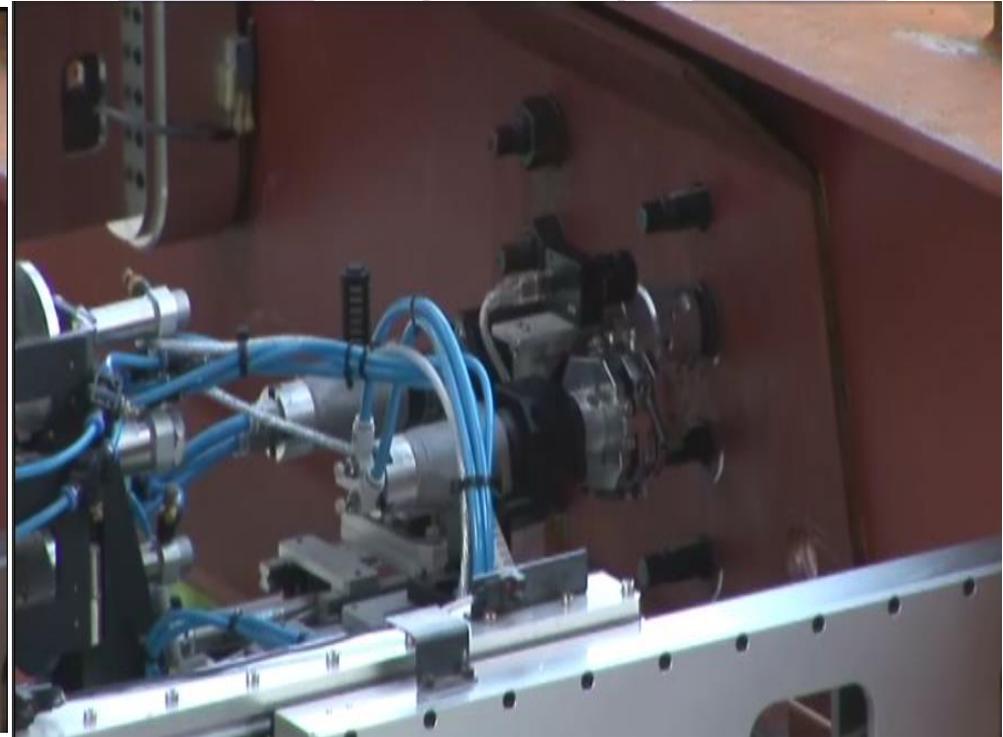
ボルトの供回り止めユニット  
が梁の裏側にセットされる。

ボルト4本分。

# ボルト締めプロセス



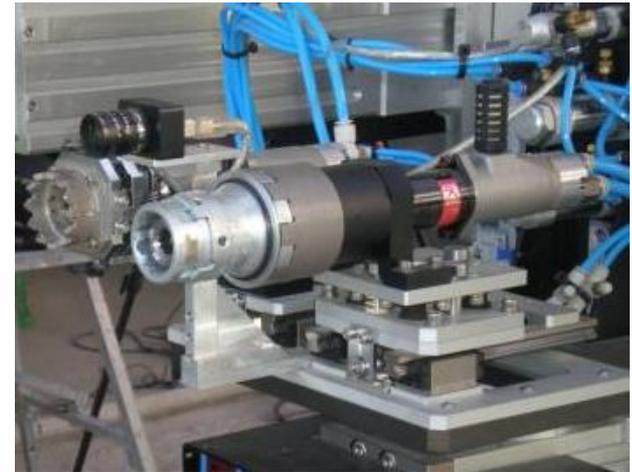
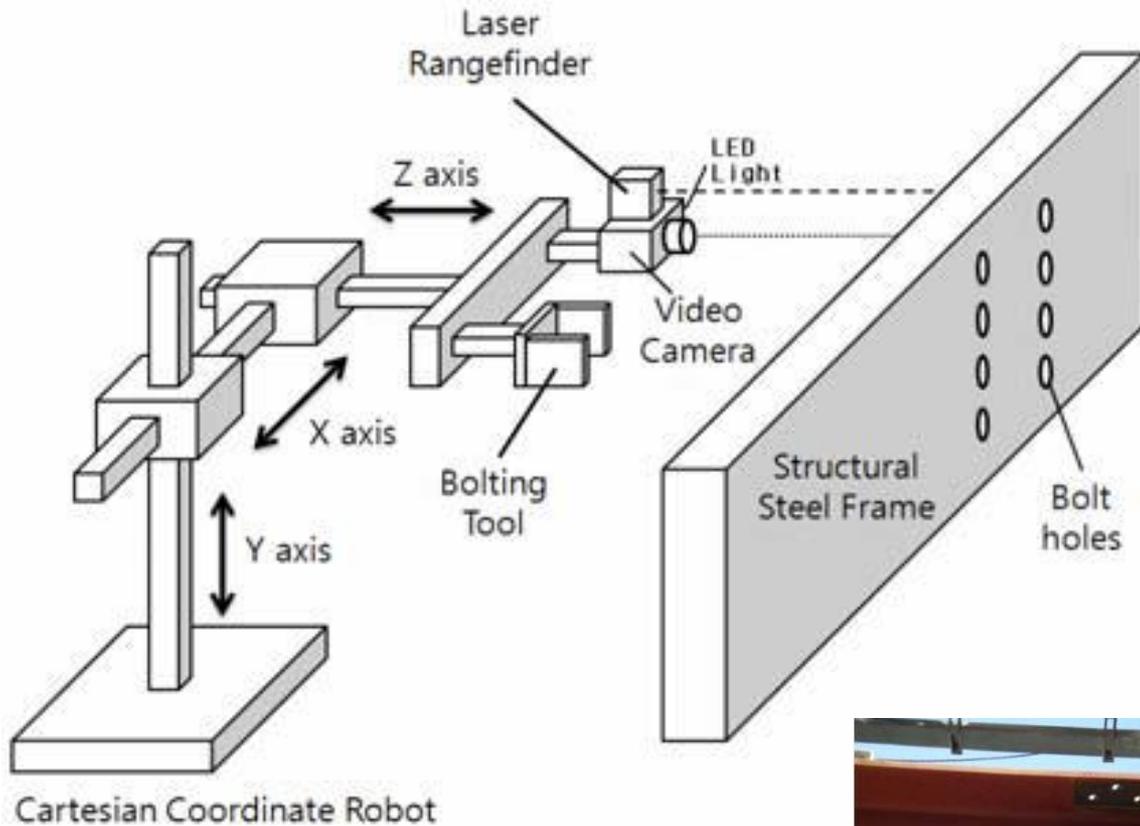
ナットの挿入・仮締め作業



ボルトの増し締め作業

エンドエフェクタのナットとボルトの芯合わせは、  
画像処理で簡略化している。

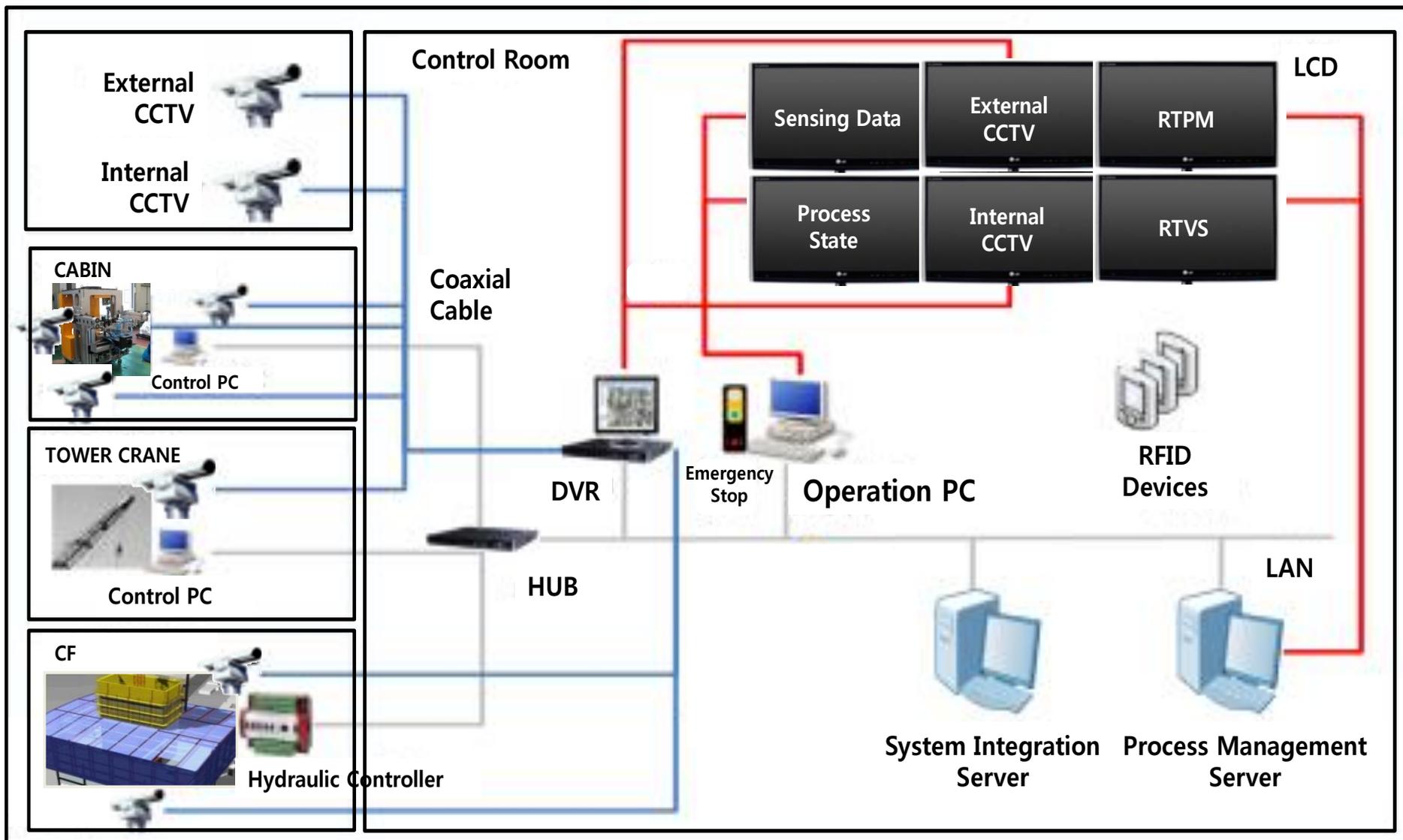
# 画像処理によるボルト挿入



**Bolding automation by the technology of image processing**



# (c) 監視・制御システムの構成



# (d) 施エプラント(CF)の構成

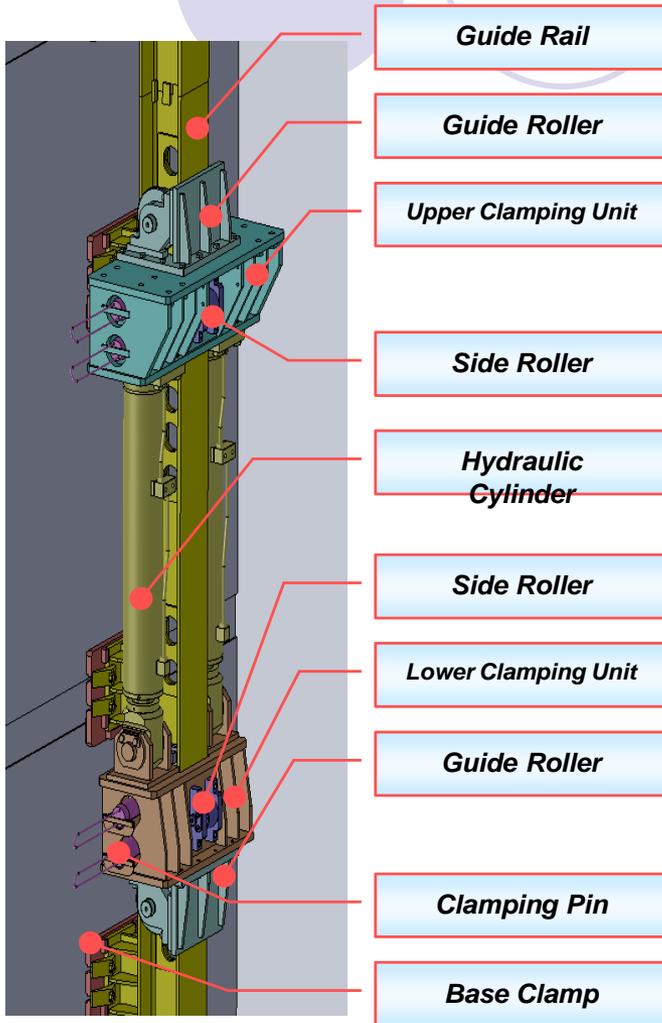


CFの組立状況



リフトアップしたCFの外観

# CFのリフトアップシステム



リフトアップ装置の構成と外観

# CFのリフトアップ状況



リフトアップ前のCF外観

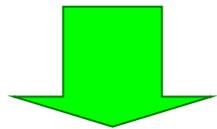


リフトアップ後のCF外観

# 成果の評価と今後の展開

## 開発成果：

1. 要素技術(サブシステム)の実現
  - ・部材揚重・搬送、部材接合・組立、CFリフトアップ、監視・管理
2. サブシステムの効果確認
  - ・搬送時間短縮、組立時間短縮、ジャッキアップ時間
  - ・梁組立作業工数、など
3. 残された研究開発課題の把握



## 今後の課題と展開：

1. 工事全体システムの実現と現場適用・検証
2. 新たなビルの作り方の研究
3. 国の研究助成による次フェーズ開発(新工法、適用対象選定)

# 高層ビル外壁メンテナンスシステム

- ロボットシステムとビルに組み込まれたガイドによるカーテンウォールメンテナンスシステムの開発

-ゴンドラ型のロボットユニット

-ユニット移動用の組み込まれたガイドレール

-自律的認識と制御

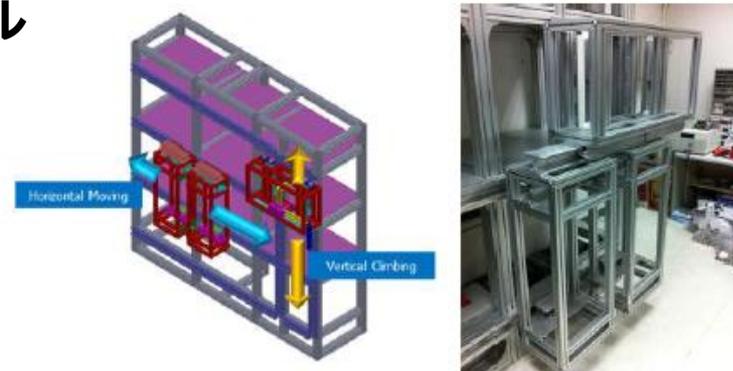


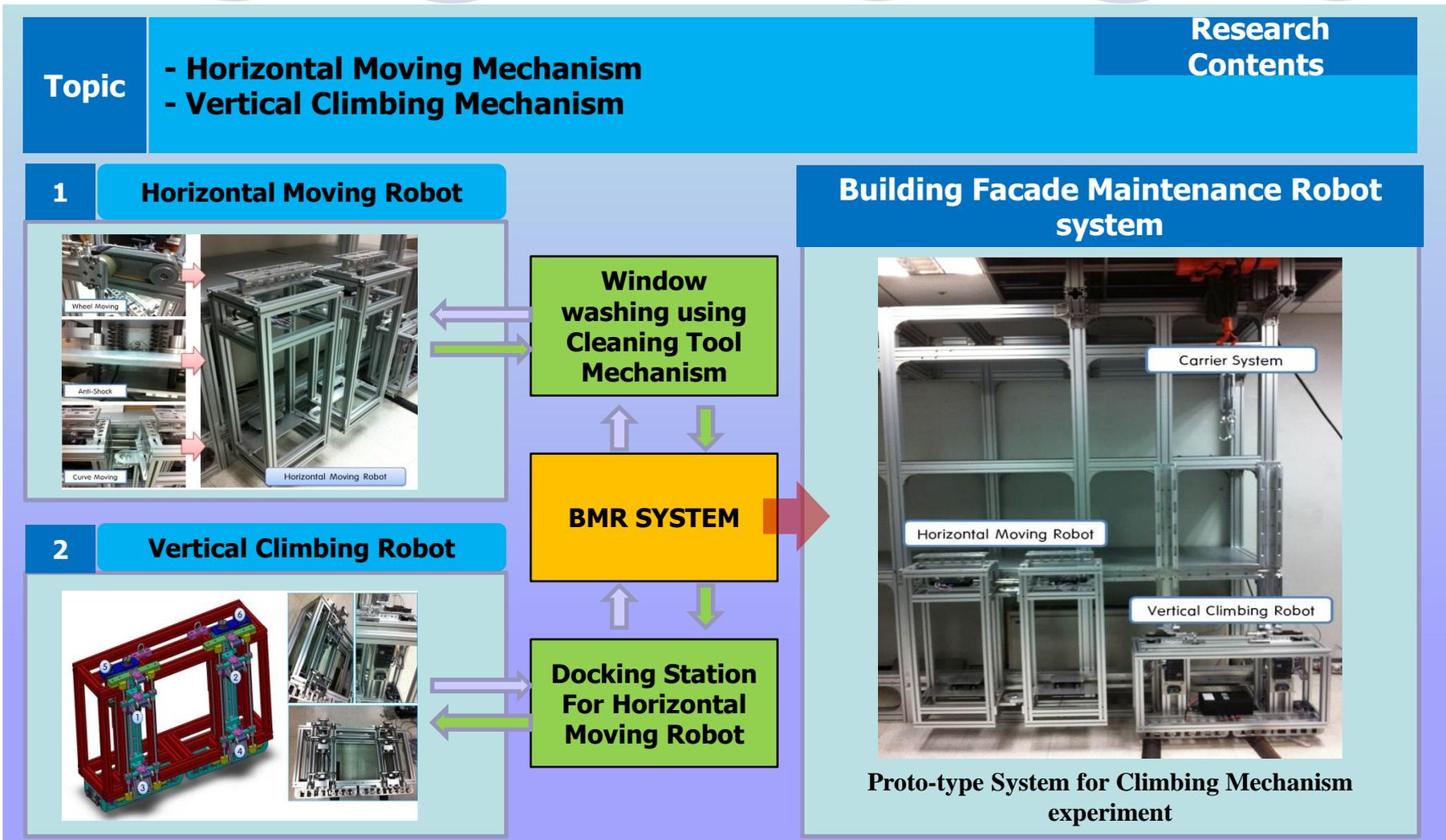
Fig 4. Built-in Guide Maintenance Robot System



*Gondola for Maintenance of Burj Dubai Building*

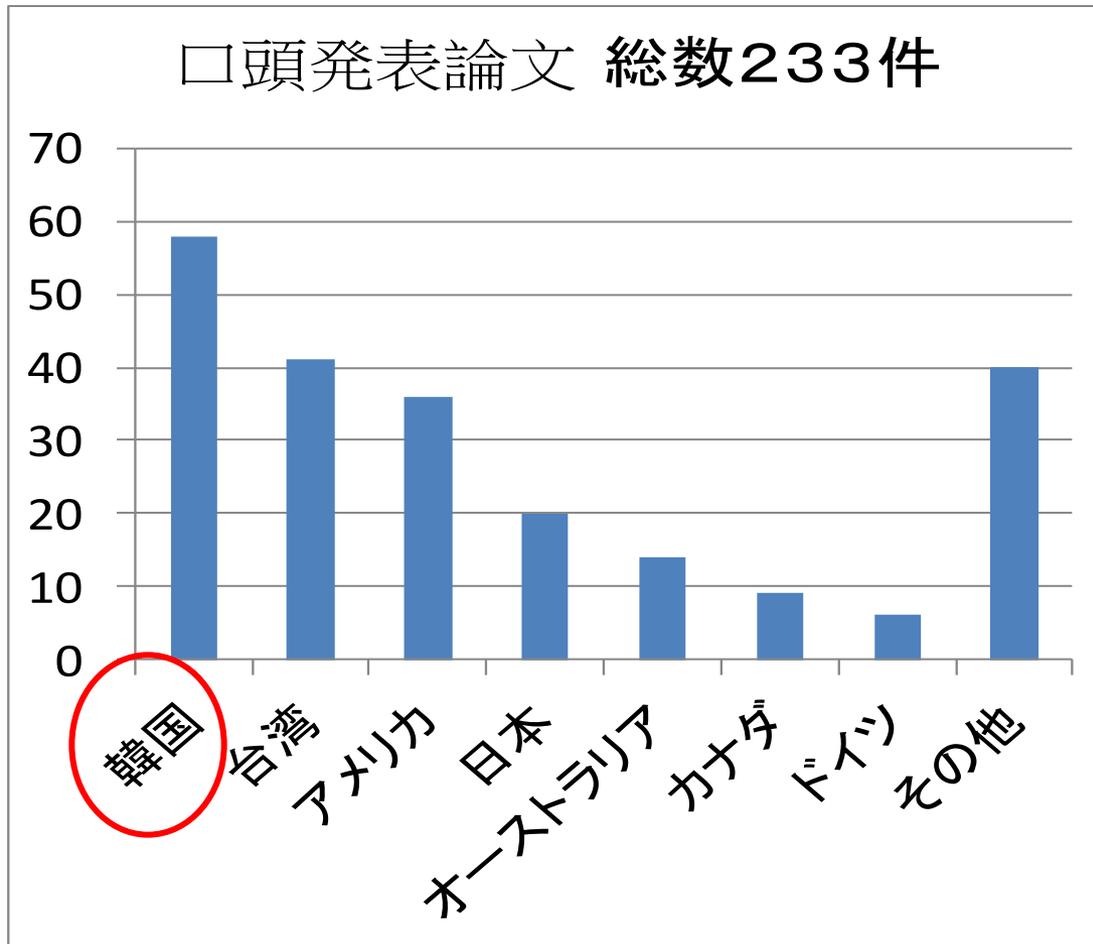
# メンテナンスロボットの水平・垂直移動

## • 水平・垂直移動メカニズムの研究

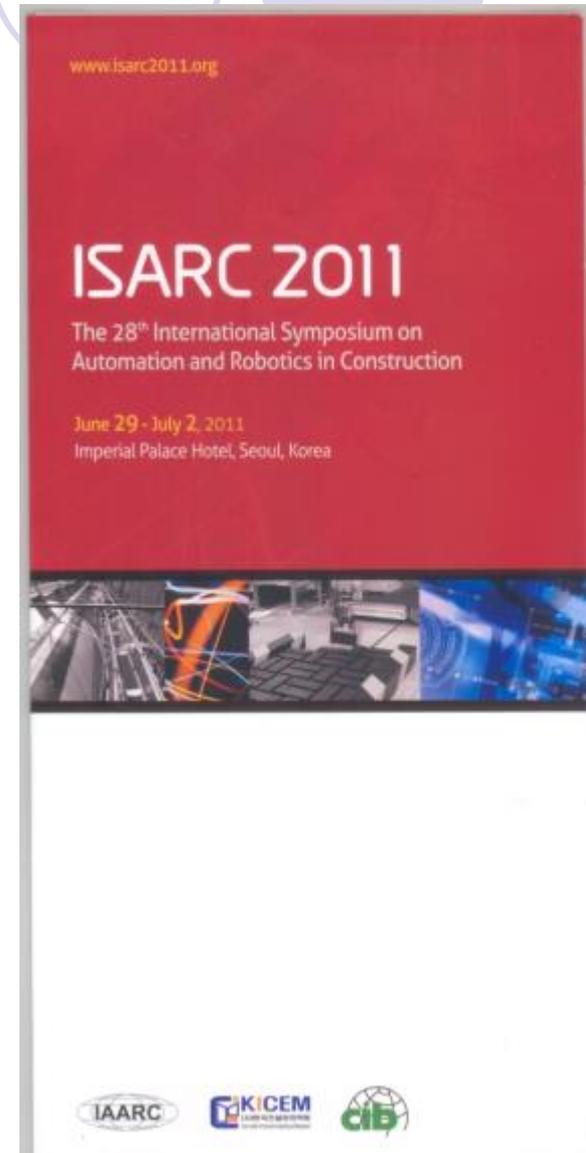


# ISARC (国際建設ロボットシンポジウム) 2011

▶ 2011年6月、ソウルで開催

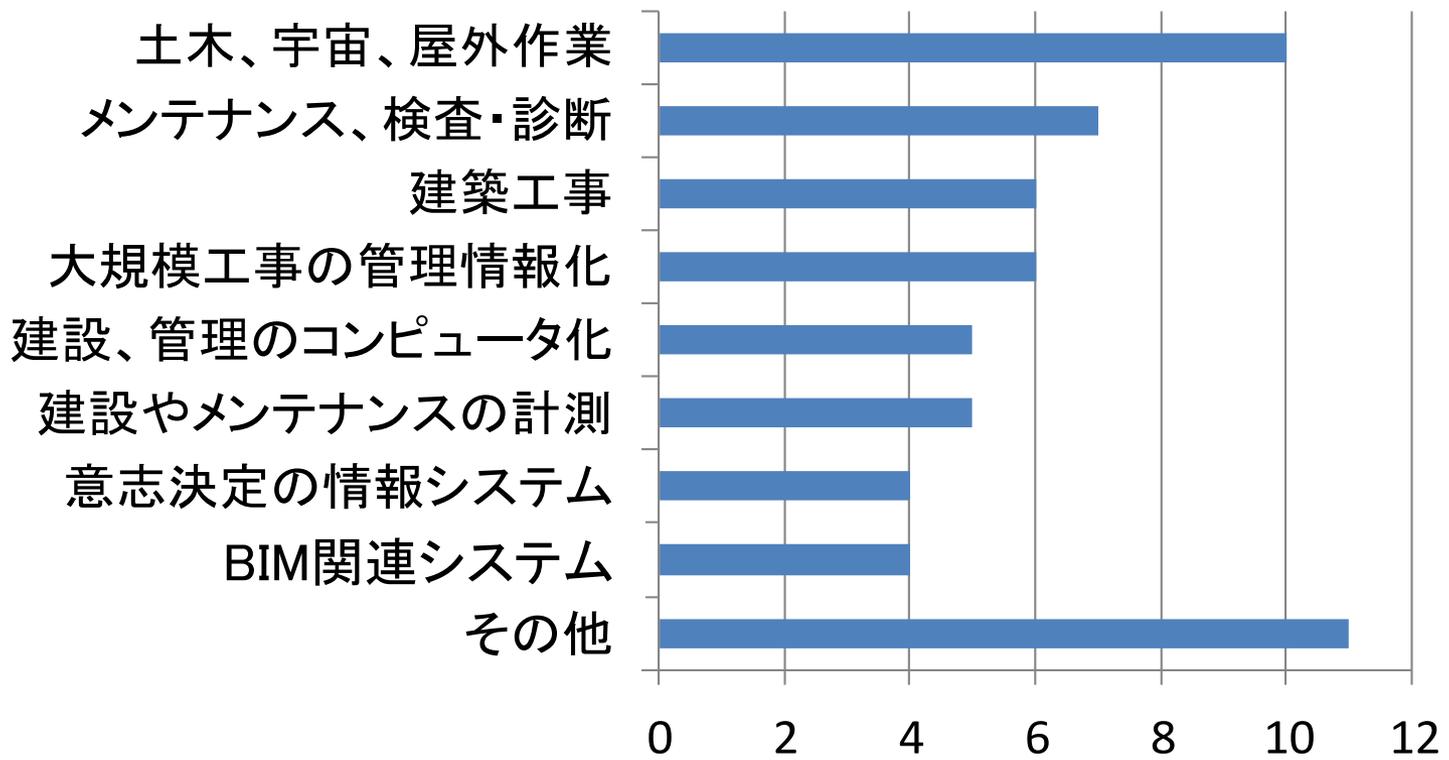


「その他」には、イタリア、スペイン、英国、インド、ポーランド、香港、タイなどが含まれる。



# ISARC2011: 韓国の分野別発表

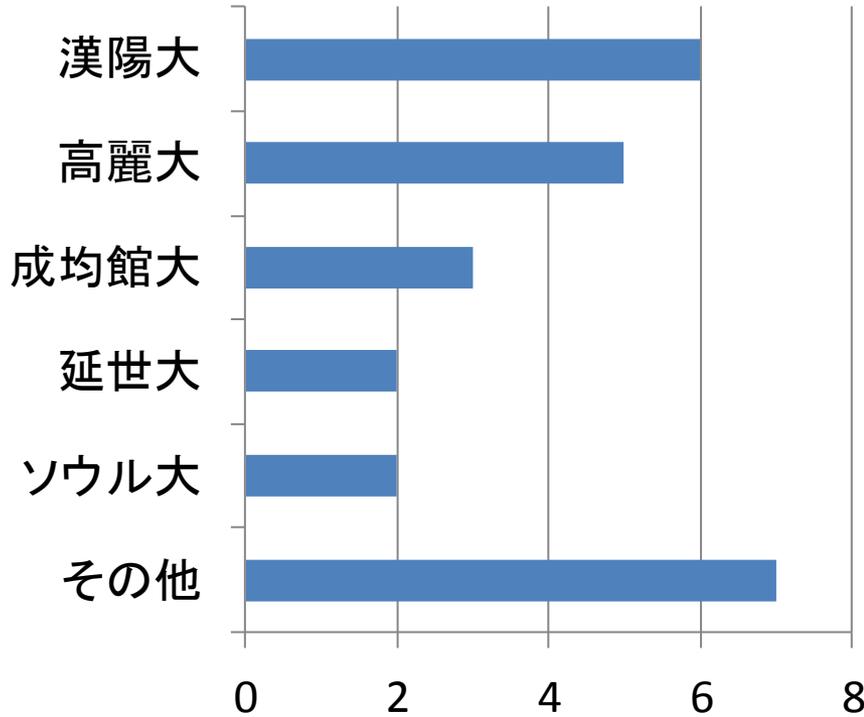
分野別発表件数(総数58件)



- ▶ 「その他」には、マネジメントシステム、設計施工統合、省エネ関連、設計企画、などが含まれる。

# ISARC2011: 韓国の発表内容

上位3分野の発表件数(計23件)



## 漢陽大

重量物のマンマシン協調  
造成工事タスクプランニング  
月面作業ローバー  
掘削の遠隔制御

## 高麗大

掘削の障害物回避制御  
ビル自動化施工システム  
壁面メンテロボット機構  
画像処理によるボルト認識

## 延世大

レーザスキャナによるト  
ンネル計測  
現場管理用モバイル

## 成均館大

橋梁ワイヤメンテナンス  
掘削工事の形状生成

## ソウル大

複数クレーン干渉回  
避制御システム

- ▶ 「その他」には、Inha, Daebul, Chang-al, Ulsan, Pusanの各大学, 及びKAIST, LCCOが含まれる。

# まとめ —現状と課題—

## ・建設自動化の促進要因

技能工不足、高齢化の進展、政府の強力な支援

## ・研究開発の現状

大学中心の取り組み、ゼネコンの関与？

建設現場への適用少ない、改善改良のサイクル？

## ・今後の研究開発の課題

現場のニーズの把握、構想案の作成

現場適用と評価、継続的な改善・改良

自動化に適した設計、作り方の変革

情報化技術との融合



つつじ満開の高麗大学キャンパス

ご傾聴、ありがとうございます。  
ございました。

경청해 주시고,  
고맙습니다.



紅葉のキャンパス