

インフラの維持管理における技術開発の 動向とSIP

NPO「道路の安全向上...」講演会
2015.11.10

藤野 陽三

横浜国立大学 先端科学高等研究院

fujino@ynu.ac.jp

NPO道路の安全... 理事長

0

自分のフィールド 1980年代から

橋 中でも長大橋の計画・設計・構造,
風, 地震, 人や車による振動, モニタリング
保全, 防災...インフラマネジメント...



「橋のことなら
何でもやろう」
ということで
橋梁関係論



1967年 初版



中根 千枝 (社会人類学)
東大東洋文化研究所 名誉教授

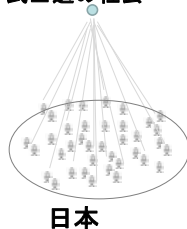


山岸俊男 北大名誉教授 日本を代表する、世界的にも著名な社会心理学者

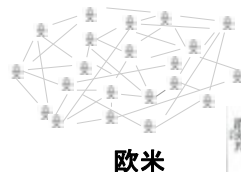
安心社会: タテ社会

集団主義的秩序の社会,
安心を社会が提供
ムラ社会, 統治社会,
武士道の社会

信頼社会: 社会が提供する
「安心」に頼らず, 自らの責
任でリスクを覚悟で他者と協
力関係を結ぶことによって得
られるメリットの方が大きい
と考える社会. 商人道.



日本



欧米



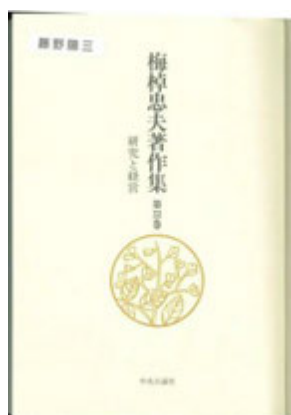
初版 1967年

大学の研究は研究所で と理解



「人文科学」の中心
京大人文研究所
のちに
民族博物館創設





研究
穴(縦)ばかり掘るな！
横に繋がれ！
共同研究を

君らに
研究の自由はある、
しかし、
研究しない自由はない。

君らを評価する。

卒業論文の研究室選び

広く横断的にやりたい。

本郷の研究室

交通
河川
港湾
土質
コンクリート
応力
橋梁

縦
割
り

地震研究所
伯野研究室
地震防災

7

若手地震工学者の会 若手信頼性研究者の会
をスタート

京大・阪大ほか全国の若手と組む 西高東低



2007年から実行委員会を任せられ、式典を迎えました。



古市公威初代土木学会会長の就任演説

創立：1914年11月24日（大正3年）

古市公威初代土木学会会長の就任演説

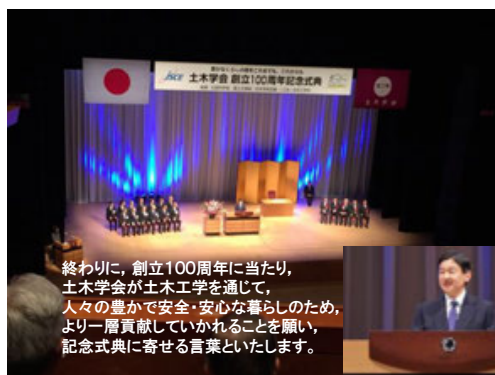
土木技術者は
「指揮者を指揮する人」、「将に将たる人」
たらねばならぬことを力強く述べ、
土木学会会員に
「研究の範囲を縦横に拡張せられんことを、
そしてそれと同時に
「その中心に土木あることを忘れられざらんことを」を

日本工学会 1879年



帝国工科大学
初代学長
貴族院議員

記念式典 皇太子殿下の御臨席



終わりに、創立100周年に当たり、
土木学会が土木工学を通じて、
人々の豊かで安全・安心な暮らしのため、
より一層貢献していけることを願い、
記念式典に寄せる言葉といたします。

記念切手

土木学会創立100
周年記念

人々の生活を
支える土木
を絵にしたもの

1000万枚発売
2014年9月1日発売

苦情が来た...



建築と土木
＝
点と線

違うのだ

土木は線だから
一点でもやられると
終わり 脆弱だ

建築は点だから
ばらばらなことが場合
によってはプラスに働く

Ace 2014年2月号(日建連)
「陸奥(ろくずみ)」
建築家内田祥哉先生
(東大名誉教授、
元日本建築学会会長)

日本工学会

1878年日本化学会

- 工学会創立 1879年11月18日(明治12年)。
- 旧工部大学校の

土木、電気、機械、造家、化学、鉱山、冶金

の7学科第1期卒業生23名が相互の親睦、知識の交換を目的として創立。 **学部・学科の会**

土木はその中の中心的存在

最初に**造家1886**、そして電気1888、機械1897
が学会として分離独立

土木は工学の中心 独立には抵抗 最後に独立

土木と建築は違う。



社会基盤ストックとは

「社会的共通資本」

「みんなが使う、みんなのもの」

自然環境 大気、水、森林、河川、湖沼、
海洋、沿岸湿地帯、土壌、

社会的インフラストラクチャー

道路、交通機関、上下水道、港湾
電力・ガス 所謂「社会資本」

制度資本(システム)

公共政策、教育、医療、金融、司法、行政



伊東 敬一先生

塩野七生

(ななみ)さん

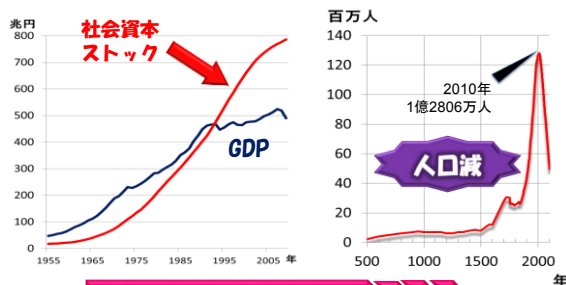


「人間が人間らしい生活を送るためには必要な大事業」

「インフラぐらい、それを成した民族の資質をあらわすものは

15

増え続ける社会基盤ストック



フロー経済からストック経済に

野口悠紀雄「社会的共通資本」(宇沢弘文編)

16



首都高速一号羽田線
1964年完成

17



時とともに価値が上昇



50年前のクルマ



50年前のテレビ ラジオ

19

工学

機械工学 Mechanical Engineering
電気工学・電子工学 Electrical/Electronics

先端的, 新しさを競う

建築学 Architecture (技術をつなぐ)
土木工学 Civil Engineering 古いものの価値

自然 工学・技術 社会・人間

尖がっていないが, 幅が広い
常に, 自然と社会・人の両方を見て

20

事故, 災害から学ぶ

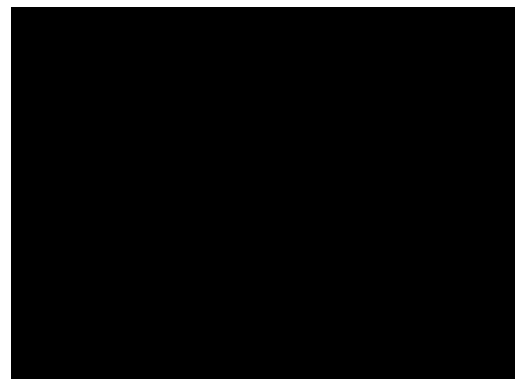
経験から謙虚に学ぶ

21

中央高速道笹子トンネルの天井板落下事故
(2012年12月)



日本のインフラの維持管理を大きく変えた



アメリカの橋梁の維持管理はこの事故(1968年)がきっかけ

23

ミネソタの橋梁崩落事故 2007. 8.1



設計ミス 薄かったU-10 ガセット 2003年撮影

写真でも面外変形していた

点検では見つけられず (悪くなったところだけを探すので)

もともと悪いところ
を探すのは大事トラス格点は大事な
部位と見なされて
いないUS
接合部の設計
の見直し我々は何を
学んだか?

アメリカで起こることは日本でも起こる。逆もまた真

Loma Prieta 地震, 1989

インフラ, 特に
橋の被害

Loma Prieta 地震, 1989

"Unbelievable damage!"

日本ではありえない 想定されない

**This kind of damage would not
be expected in Japan"**

日本の国際的に著名な地震工学者の言

ハウズナー名誉教授委員長とする被害調査委員会

報告書 **Competing against time**

時間との闘い 謙虚

カリフォルニア運輸局, さらに全米で
地震レトロフィットに励んだ

Northridge EQ, 1994.1.17

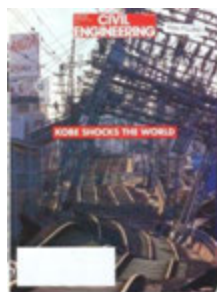


1989年以降, 耐震補強を進めた.

済まないものは同じように被害を受けた.

済んだものはOK 大きな教訓.

我々は1989年ロマプリータ地震から何を学んだのか?



1995.1.17 阪神大震災
耐震補強に目覚めた
既存不適格に要注意

3.11 地震

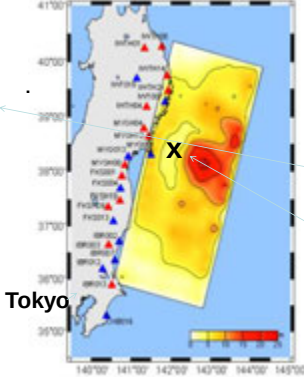
断層

400km x 200km
すべり量 最大25m

M = 9.0

想定外？

1978 宮城県沖 EQ.
M=7.4



高速道路 耐震補強の効果

2週間後の3月25日には全面開通
いくらぐらいのメリット？

高速道路の被災状況と復旧状況

世界が驚愕した日本の高速道路 わずか5日
で緊急復旧した常磐道のり面の崩落

仙台高速道路 仙台港北IC～仙台東ICの橋脚ゴム支承の破断
常磐自動車道 いわき南IC～いわき基本ICの切土のり面の崩落



東神戸大橋

1995年兵庫県南部地震

エンドリンクの破損 脆弱な
壊れ方（想定外）



つるみづばさ橋

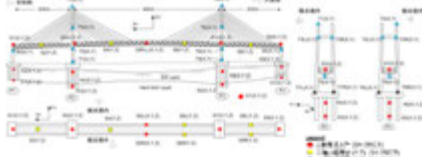
耐震補強を2000年に入っておこなった.



横浜ベイブリッジの地震応答モニタリング

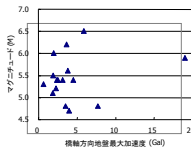
(1) 豊富な観測点

85加速度計



(2) 豊富な件数

15年間の16地震



年・月・日	時・分	震源位置	経度 (東経)	緯度 (北緯)	17.75m 深さ (m)	震度 (震度)	震害規模 (m)	記録時間 (sec)
1	1990.02.20	15:53	伊豆大島近海	34°42'	139°16'	6.5	17	92
2	1990.05.03	16:45	南鳥島	30°30'	140°38'	5.3	52	145
3	1990.06.01	10:22	千葉県東方沖	35°38'	140°44'	6.0	59	88
4	1990.06.05	22:43	津島川沖近海	35°13'	139°12'	5.5	123	45
5	1990.08.23	08:47	千葉県中部	35°21'	140°24'	5.4	50	67
6	1990.08.23	11:45	千葉県中部	35°21'	140°24'	5.2	49	67
7	1991.01.14	23:19	長野県東部	36°25'	138°11'	5.4	187	150
8	1992.02.02	04:04	東京湾	35°14'	139°48'	5.9	93	27
9	1995.01.07	21:34	茨城県南部	36°17'	139°59'	5.4	70	96
10	1995.07.03	08:53	福岡県	33°09'	130°34'	5.6	122	35
11	1996.09.11	11:37	千葉県東方沖	35°38'	141°12'	6.2	53	139
12	1996.12.21	10:28	茨城県南部	36°06'	139°52'	5.4	53	74
13	1997.07.09	18:36	千葉県北部	35°13'	140°08'	4.8	71	43
14	1997.08.09	05:34	埼玉県南部	35°49'	139°30'	4.7	67	44
15	2000.06.14	11:43	茨城県南部	36°13'	139°59'	5.1	57	34
16	2003.09.18	18:59	千葉県東部	35°48'	140°07'	4.8	69	

同定された3つの遊動円木振動モード

想定モード

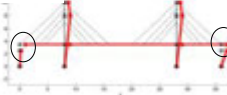
想定外モード



想定外モード

(a) Typical slip-slip Mode (Earthquake 1990-02-20 Frame-1)

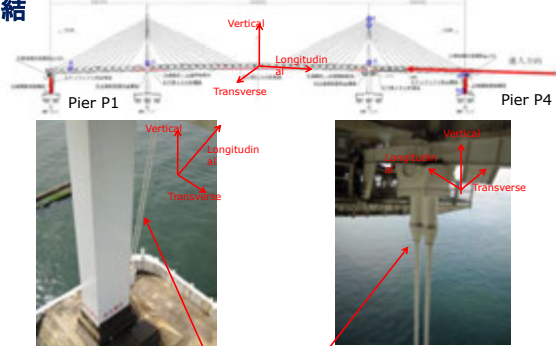
(b) Typical Stick-Mode (Earthquake 1992-02-02 Frame-2)



(c) Typical Mixed Slip-Slip Mode (Earthquake 1995-07-03 Frame-1)

設計では想定
されていない
危険なモード
(揺れ方)

Fail-safeフェイル セーフ設計 PCテンドンで連結



PC Cable connecting Pier P1 & P4 and Girder to prevent girder uplift



桁、塔が
60cmも揺れた

自動車の転倒

付属物の問題



1995 兵庫県南部地震
3台のトラックが転倒



荒川湾岸橋(1975年)耐震補強工事中

構造部材を接続する部材が破断している
(耐震補強に入っていない 想定外)



取付部材(横支材・下横構)の損傷



取付部材取替



取付部材(横支材・対横構)の損傷



取付部材取替



横浜ベイブリッジのトラス部の耐震補強

Preparing for the Unexpected

Hiroo Kanamori
California Institute of Technology

(This talk was presented at the Luncheon of the
SSA-ESSE Joint Symposium, April 7, 1994. It
has been slightly edited for publication.)

Living in California means living with earthquakes. During the last decade alone we have experienced several damaging earthquakes, some of which have come as big surprises. We were surprised by earthquakes without surface break, surface break without much seismic radiation, and a south-dipping fault in an area of primarily north-dipping structures. Why were we taken by surprise? We were surprised primarily because the duration of our data base is so short compared with the time scale of earthquake occurrence.

想定外に準備しよう
1995年

金森博雄(カリフォルニア
工科大学名誉教授 元東大地震研
教授 34歳で教授)



Seismological Research Letters, 1995

工学

マネジメント

設計 ↔ 計画, 立案
解(ソリューション) ↔ 決定
建設 ↔ 実行
メンテナンス ↔ 運営

成功 ↔ 失敗

様々な不連続性(Discontinuity)

ニッチ 隙間



測る, モニタリング=損傷検知

むしろ

実物構造物の挙動は
未知, 未経験の部分も多い
個体差によるばらつきも大きい

測る=知る
想定シナリオを増やす

42



広井 勇(いさみ)

工部大学予科, 札幌農学校
内村鑑三と同級 アメリカドイツ留学
を経て札幌農学校教授 古市に呼ばれて,
明治32年に東京帝大教授(橋梁学講座)
土木技術者を数多く輩出, 広井山脈
青山士, 八田與一, 吉田徳次郎, 田中豊
なぜか?

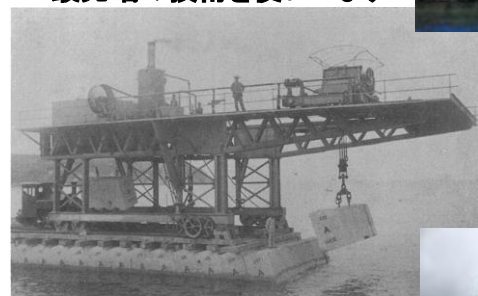
学者としても非常に優れていた.

広井公式(波圧)

英語での本 Statically Indeterminate
Bridge Stresses 欧米で非常に高く評価



画期的な大型機械工事 最先端の技術を使いこなす



巨大積置機「タイタン」(コンクリートブロックを海底に建設)



100年分のコンクリートの
テストピース
(6万個)

一種の長期モニタリング



46



内村鑑三(1861-1930) キリスト教思想家
東京英語学校を経て札幌農学校卒



青山士 1878-1963
一高時代に内村の講演を聞き、感銘を受けて
門下生に
1903年東大土木を卒業後、広井勇の門下生
パナマ運河(今年100歳)の建設に参加
1912年 内務省 最後は内務技監
荒川放水路の建設を指揮
信濃川大河津分水路の改修 等々

青山士は古市公威にも感銘を受けたという

47

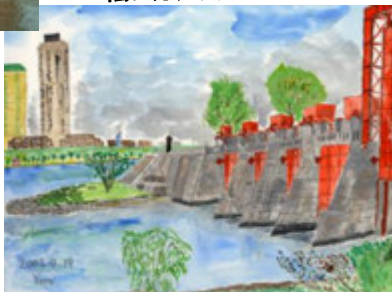


岩淵水門 1924年

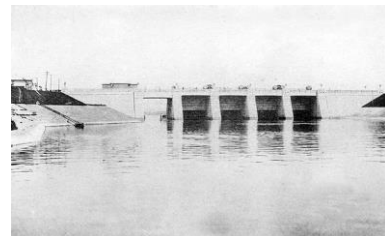
絵を描きたくなる
絵レガンス

用強美

3つのE
Efficient
Economical
Elegant



岩淵水門 1924年
荒川と隅田川を仕切る
水門



「晩年、野岡県碧出(いわた)市から青山が台風のたびに上京し、水門に異常が無いことを確認に来た」という (高橋 裕)
これも目視点検の一種

49

構造物のライフサイクル
計画

設計

施工 製作

何と言っても初期品質が良いことが大事
エンジニアの思いが詰まった作品

維持管理 上の3要素のツケが回らないように

日頃の維持管理からの知見を新設構造物に
生かすことが大切



53

古いインフラの質には
いろいろあるが...

わが国の発展に貢献した、
先輩方の作品に敬意を払い、
それをいかに守るか、
アップグレードするか。

52

首都高速道路構造物の大規模更新のあり方
に関する 調査研究委員会 2012年3月から

- ・ 委員長 涌井 史郎 東京都市大学環境情報学部 教授
- ・ 委員

秋池 玲子 ポストコンサルティンググループ
パートナー&マネージング・ディレクター

石田 東生 筑波大学大学院システム情報工学研究科 教授

勢山 直 (独) 日本高速道路保有・債務返済機構 理事長

藤野 陽三 東京大学大学院工学系研究科 教授

前川 宏一 東京大学大学院工学系研究科 教授

真下 英人 (独) 土木研究所道路技術研究グループ グループ長

三木 千壽 東京都市大学総合研究所教授

初回 平成24年3月 5, 6, 8, 10, 11月 笹子・選挙 25年1月提言



- 道路会社の管理 ・付属物 ・古いものは怖い（設計，構造形式，施工，管理）
- 我が国のインフラ史で歴史的な事故.



2011年10月から
委員会をスタート

藤野 橋梁
宮川 コンクリート
大田 地盤
西村 トンネル
各社

		項目	主な対策	延長※1	概算事業費※2
大規模更新	橋梁	床版	床版取替	約 230km	約16,500億円
		桁	桁の架替	約 10km	約 1,000億円
		小 計		約 240km	約17,600億円
	大規模修繕	橋梁	床版	高性能床版防水 など	約 360km
桁			桁補強 など	約 150km	約 2,600億円
土構造物		盛土・切土	グラウンドアンカー 水抜きボーリング など	約 1,230km	約 4,800億円
トンネル		本体・覆工	インバート など	約 130km	約 3,600億円
小 計		約 1,870km	約12,600億円		
合 計		約 2,110km	約30,200億円		

平成26年度重点課題
（総合科学技術会議）

- 環境・エネルギー
- 健康・高齢化社会
- インフラの安全，ICTの適用
センサー，ロボット，ビッグデータ
次世代インフラ

SIP 戦略的イノベーション創造プログラム
10課題のひとつ
インフラの維持管理，更新，マネジメント技術

背景

○道路インフラの近接目視点検(5年に一度)の義務化

○全国70万の橋梁，1万のトンネル，標識などの付属物もともにやればその費用(市場)は数千億円のオーダー ネクスコだけで300億円以上(以前は200億円程度？)

○大規模更新・修繕のコストは高速道路だけで4兆円/15年

○大規模更新は新設の数倍から(場合によっては)数十倍かかる。全国の道路，港湾空港，河川，農水... あわせれば百兆円のオーダー？

○科学的に，先端技術を使って，いかに点検費用，更新費用を減らすか？ 決して見える利益を生むものではないが，大きな社会的貢献。

笹子トンネル事故(2012年12月)



戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)

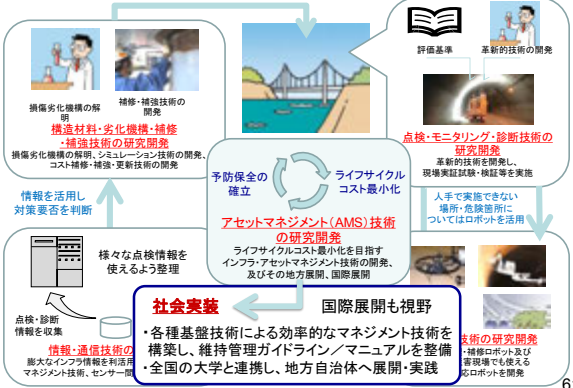


インフラの維持管理・更新・マネジメント技術
～安全で強靱なインフラシステムの構築を目指して～

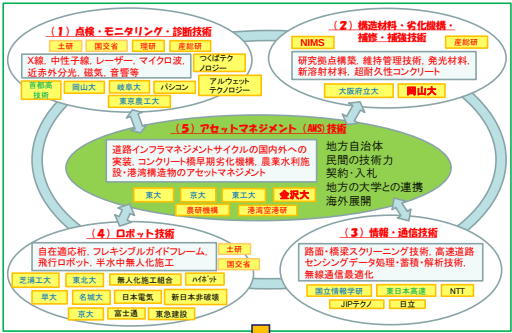
内閣府 プログラムディレクター
藤野 陽三

30億円あまり/年 5年間

SIP「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」
結果を補修・補強に活用



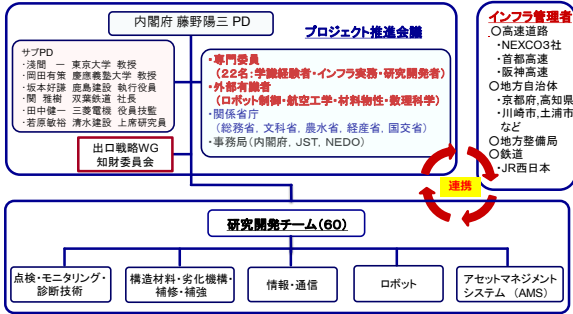
61



※「(1)点検・モニタリング・診断技術」には、この他、国土交通省主管の「社会インフラのモニタリング技術活用推進検討委員会」と連携して実施している以下の研究実施機関を含む。
研究実施機関：(注) 大阪府立大 三井住友建設 大成建設 オムロン・システムソリューションズ 日本電気 応用物理 中央環境 新日本建設 国土技術研究センター 国際建設技術協会 モニタリングシステム技術研究組合 五洋建設 川崎地産 東北大 アルファ・プロダクト NTTアドバンステクノロジ 東大

62

推進体制：エンドユーザーとの密接な対話



63

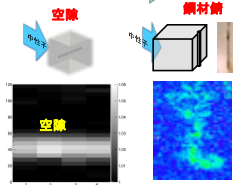
進捗状況トピックス
中性子源による橋梁内部非破壊調査 理化学研究所

◇ 中性子の特徴：金属やコンクリートに対する透過性が高く、水等軽元素に対する感度が高い
⇒ コンクリート中の水分、鉄筋の腐食測定が可能

世界初！

進捗状況及び具体的成果

他の非破壊検査との比較			
非破壊測定法	透過コンクリート厚	見えるもの	水の識別
電磁誘導法	15cm	鉄筋、さび	不可
電磁波レーダー	30cm程度	空隙、鉄筋、水、(水セメント比)	不可
超音波(波長：70～180mm程度)	～60cm	空隙、鉄筋、(水セメント比)	不可
衝撃弾性波	～60cm	弾性波速度、ひび割れ、空隙、コンクリート厚さ	不可
レーザー	表面のみ	ひび割れ、水、ジャンカ	可
赤外線カメラ	表面～10cm	空隙、剥離	可



高速中性子により、30cm厚コンクリートを透過し(50cmまで可能な見込)、空隙、鋼材腐食、水の可視化に成功！

65

64



マルチコフター 東北大学

- ・ 橋梁接触時の安定飛行を確保
 - ☞ フレーム構造改造による衝撃吸収性、耐久性向上
- ・ 桁間に進入し、床版や高力ボルトを0.5mの近距離で撮影
 - ☞ 0.2mm (目標0.1mm) 程度のひびの撮影が可能
 - ☞ カメラ取付ピッチ角を飛行中に操作可能に改善
- ・ 最大風速9.9m/s (目標10m/s以上) も飛行可能
 - ☞ モータとプロペラの改善による推力向上

フラレン構造 流線型ジョイント

【橋梁点検】

【調査作成支援】

見えないものを見えるように

見にくいところを見てくれる



車載型地中探査レーダーによる
損傷特定 東京大学

従来技術

○人力での打音試験: 車線規制が必要: **車両規制が必要、膨大な時間とコスト**
○レーダー信号用ソフトを使った損傷検知: **低精度、ベテラン技術者で作業に1週間**

橋梁を上から見た図

ハンマー

打音での異常箇所

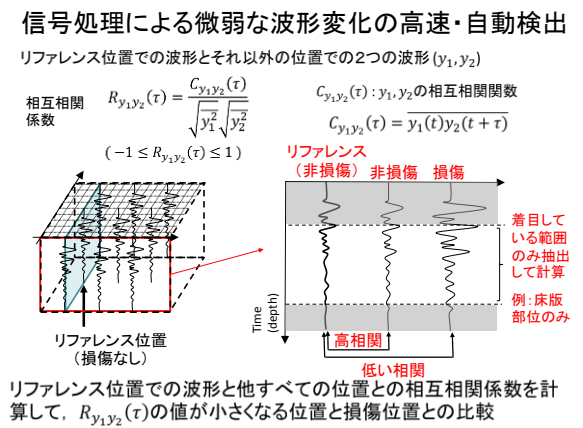
レーダー専用ソフト (商用) の画像から目視で検出した異常箇所

開発技術

時速80kmの高速で地中からの反射波を計測

世界初!

異常箇所を高精度で検出 ⇒ 処理時間数



横串を刺す、束ねる

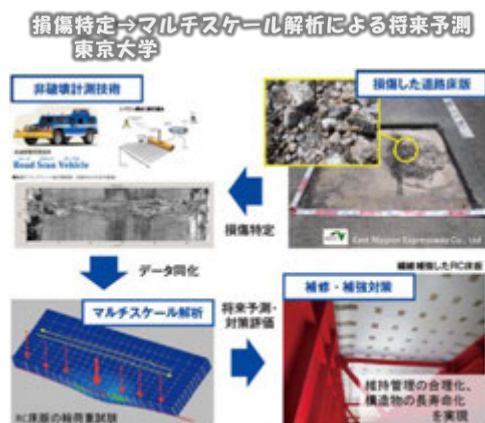
・インフラ

ニーズ ← 構造 材料 センサ ロボティクス 通信 情報 →

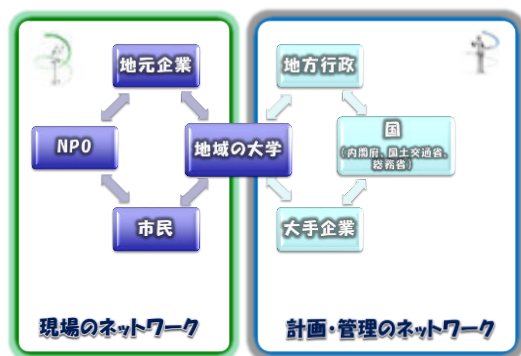
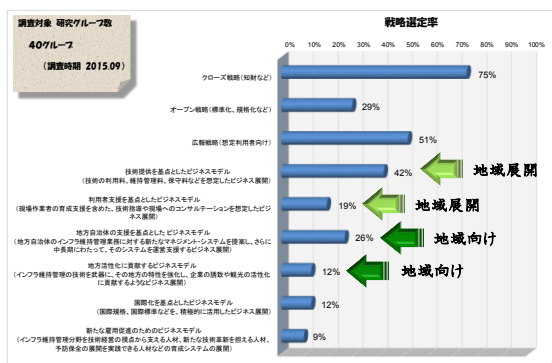
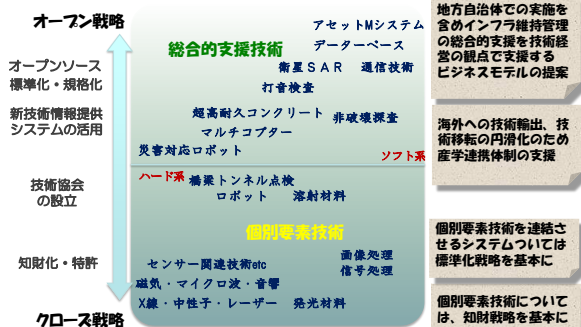
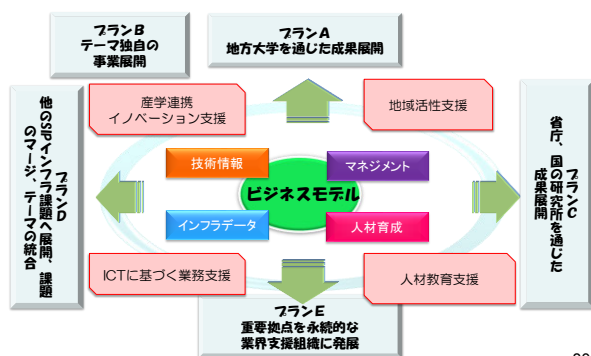
言葉の違う村々

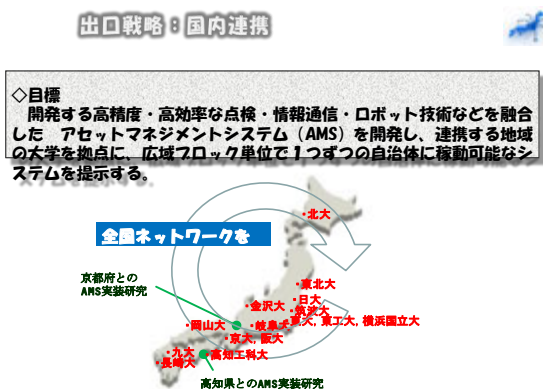
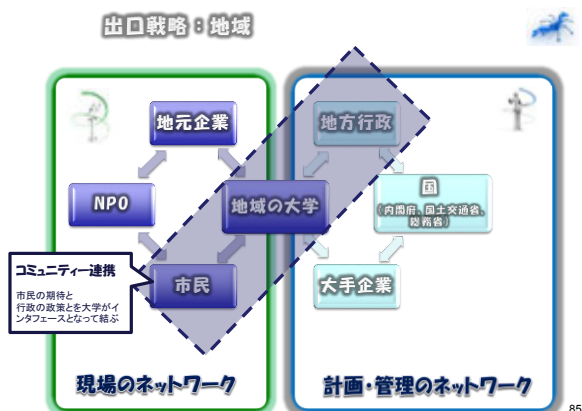
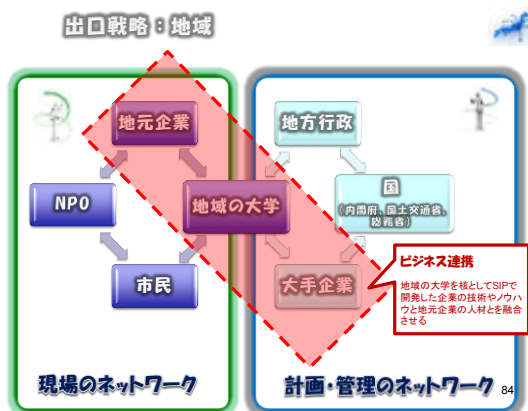
通訳の育成が必要
人材育成が重要

使いたくなるシステムをつくる
それが“イノベーション”

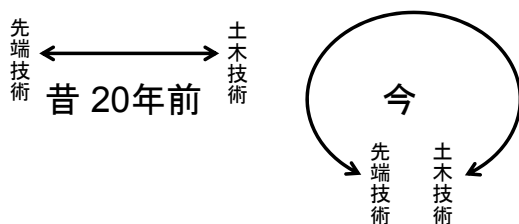


社会実装に向けて





土木技術と先端技術



土木こそ、先端技術が必要！
先端技術を使いこなす

西田 厚聰 (にしだ あつとし) 氏 元東芝会長

89

Frugal に

つましい、儉約な



終わりに

- SIPインフラは私にとってこれまでの研究の中で最大(最後?)の土木と先端の橋渡し, bridging. 国費を使ったプロジェクト. 成功させたい.
- そのためには,
各メンバーとの協力が欠かせない.
皆様のご協力も欠かせない

よろしくお願いいたします.

ご清聴をありがとうございました.

PDFファイルを希望の方は

fujino@ynu.ac.jp

まで