

テレイングジスタンス

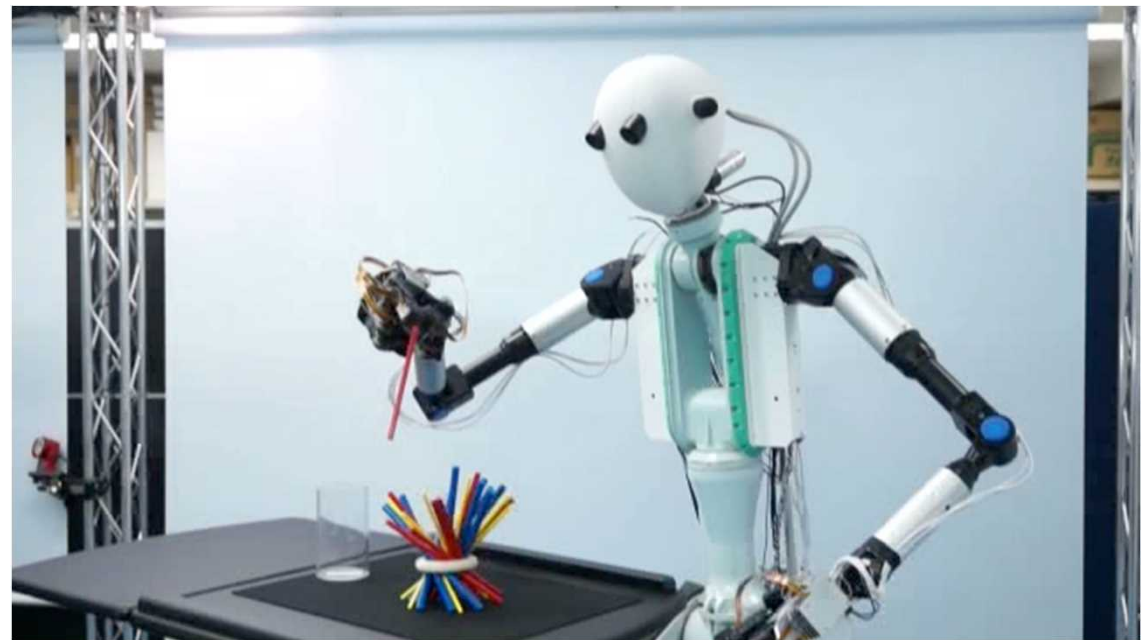
JST理事長記者説明会
@JST本館（サイエンスプラザ） 2018.10.25 (thurs.)

舘 璋

東京大学・名誉教授

テレグジスタンスtelexistence

- telexistence = tel- + existence 遠隔存在
- tele- or tel- = Distance; distant. 離れて
- existence = The fact or state of existing; being. 存在
- telexistence = 離れて存在すること、あるいは、そのように感じることに



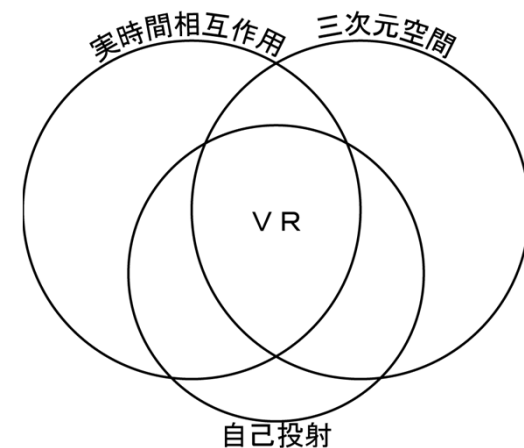
身体所有感（ownership）行為主体感（agency）自己の位置定位（self-location）

3

身体所有感とは、自己の身体が自己のものであるという感覚であり、ラバーハンド錯覚（Rubber Hand Illusion; RHI）はこの感覚に関する錯覚現象である。操縦者の物理的な身体とアバターとなる代理ロボットの身体間の身体図式を一致させる必要がある。トレイグジスタンスでは、操縦者が代理ロボットへの身体所有感を感じるように、視覚と深部感覚等の自己受容感覚で得られる情報とに矛盾を感じない工夫がされている。（自己投射）

行為主体感とは、ある身体の運動、およびその運動によってなされた行為が、自分自身によって行われているという感覚である。すなわち、この感覚を得るには「自身の行為による結果予測」と「実際にその行為をしたことによる結果」とが合致している必要がある。トレイグジスタンスでは、代理ロボットを時間遅れや位置ずれを感じさせずに追従させている。（実時間相互作用）

自己の位置定位とは、その人が今位置している新たな場所に明確に存在していると認知することである。自己の位置定位による位置認識は一人称視点の視覚が支配的である。トレイグジスタンスでは、代理ロボットの視点映像を操縦者の頭部運動に反映させ、操縦者に違和感のない一人称視点の提示を行っている。（等身大3次元空間）



身体所有感 (ownership) 行為主体感 (agency) 自己の位置定位 (self-location)

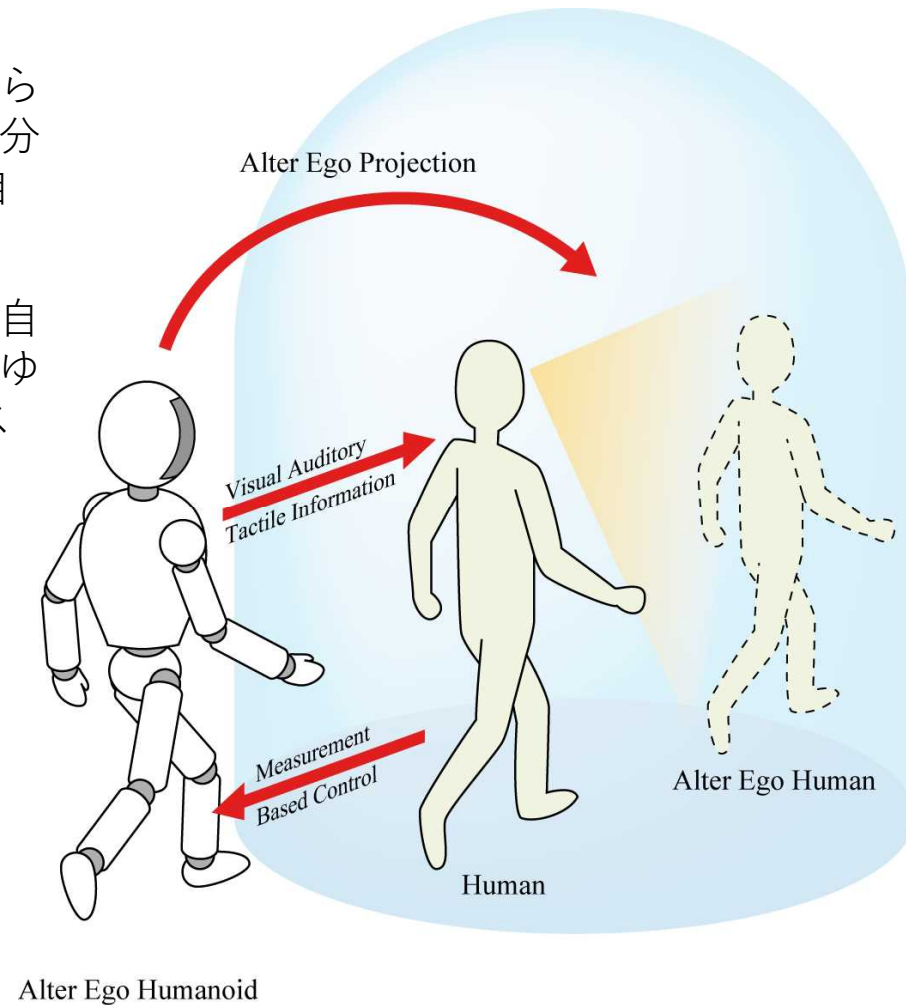
4

自己所有感、行為主体感、自己の位置定位は、VR（バーチャルリアリティ）でも担保したければならない重要な要素である。これらの、3要素を担保することで、アバターやアバターロボットを自分の新しい身体として感じ、VR空間や、遠隔環境で、その身体を自分の身体としての行動が可能となる。

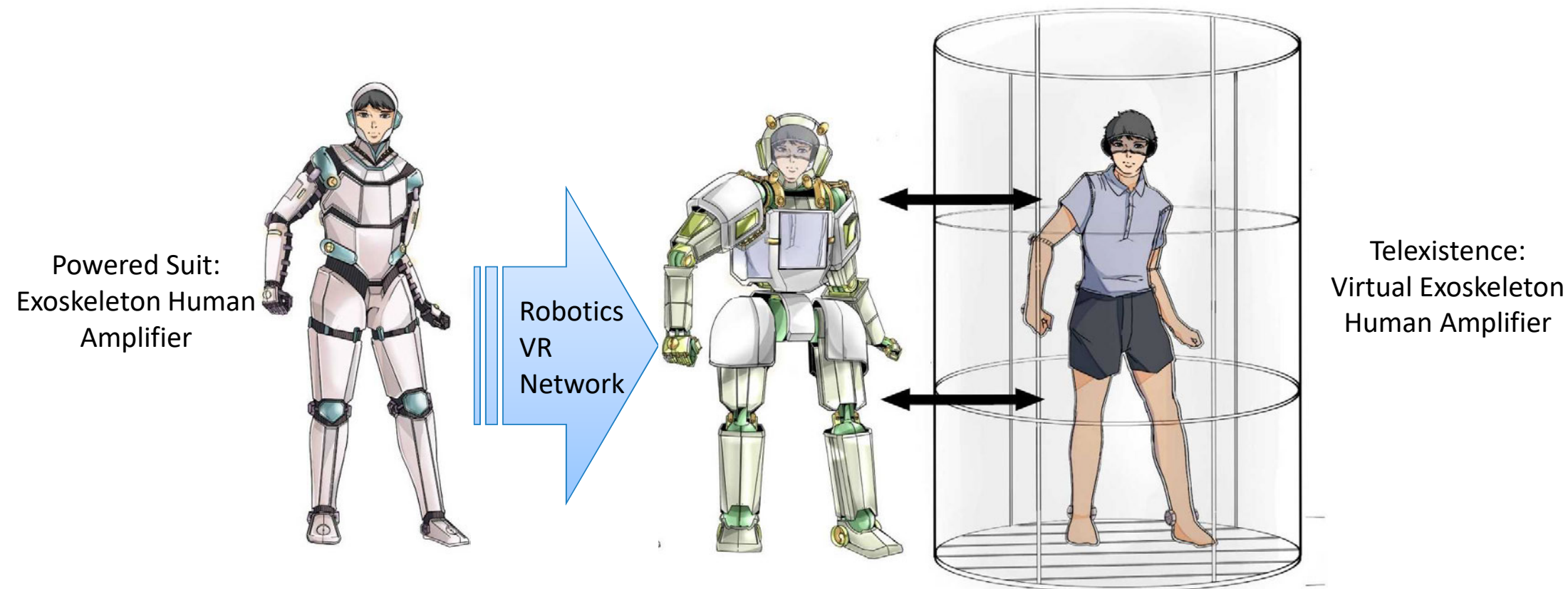
トレイグジスタンスでは、それらに加えて、アバターロボットを自分の身体として行動し、その状態で自分自身を見た時には、いわゆる、**幽体離脱感覚**が生じる。これは、VRにはない、トレイグジスタンス特有の現象といえる。



視覚トレイグジスタンスで自分が自分を見る (1981-1982)



外骨格型人力増幅機とレイグジスタンス



レイグジスタンスは、実際に装着せずに、実質的なパワードスーツを実現する



それにより、わざわざ、その場に行く必要がなく、万が一の場合でも危険がなく、自動で動かすことも可能となる

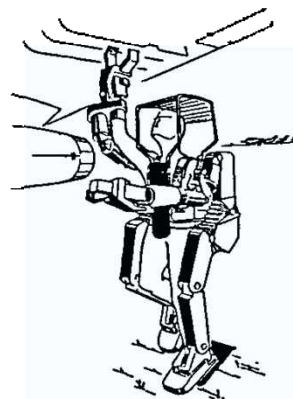
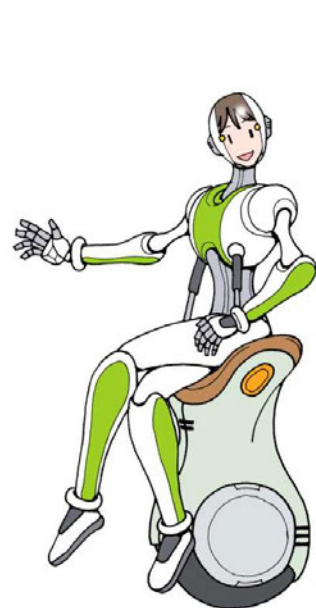
人間能力の補綴と拡張

AIに代わられるのではなく、AIを使って能力を拡張する

7月16日 大阪大学 11:00-12:00

6

AI時代
人は
義体を
手に入れ
能力を
拡張して
生きる



運動

Motion
(Manipulation,
Locomotion,
etc.)

感覚

Sense
(Visual, Auditory,
Tactile, etc.)

Human

知

Intellect
(cognition,
Analysis,
Decision,
etc.)

時空

Space
/Time
(Distance, Size
etc.)



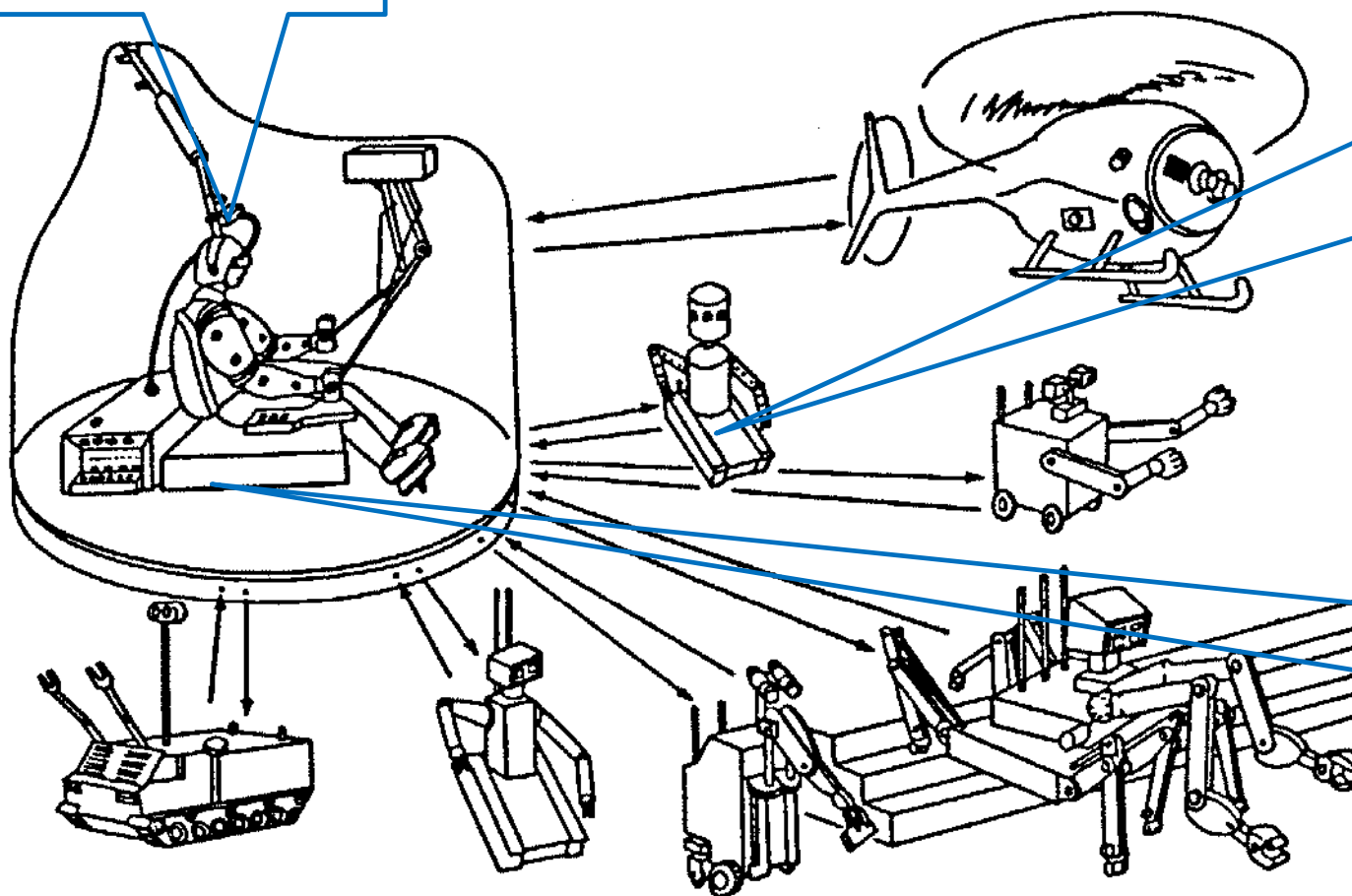
人工知能との共存

多数のロボットを管理制御し必要に応じてレイグジスタンス

AIによる人間能力の拡張 (知識の利用と感覚の拡張)

知能ロボットによる自律作業と必要に応じての知能ロボットへのテレグジスタンスによる臨機応変の作業

管理制御による複数の知能ロボットの作業分担あるいは共同作業

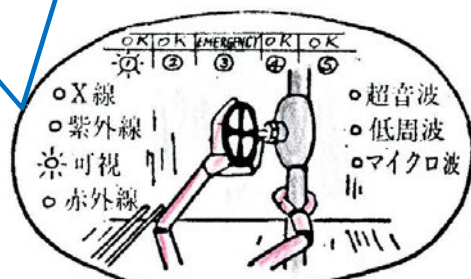


人工知能との共存

多数のロボットを管理制御し必要に応じてレイグジスタンス

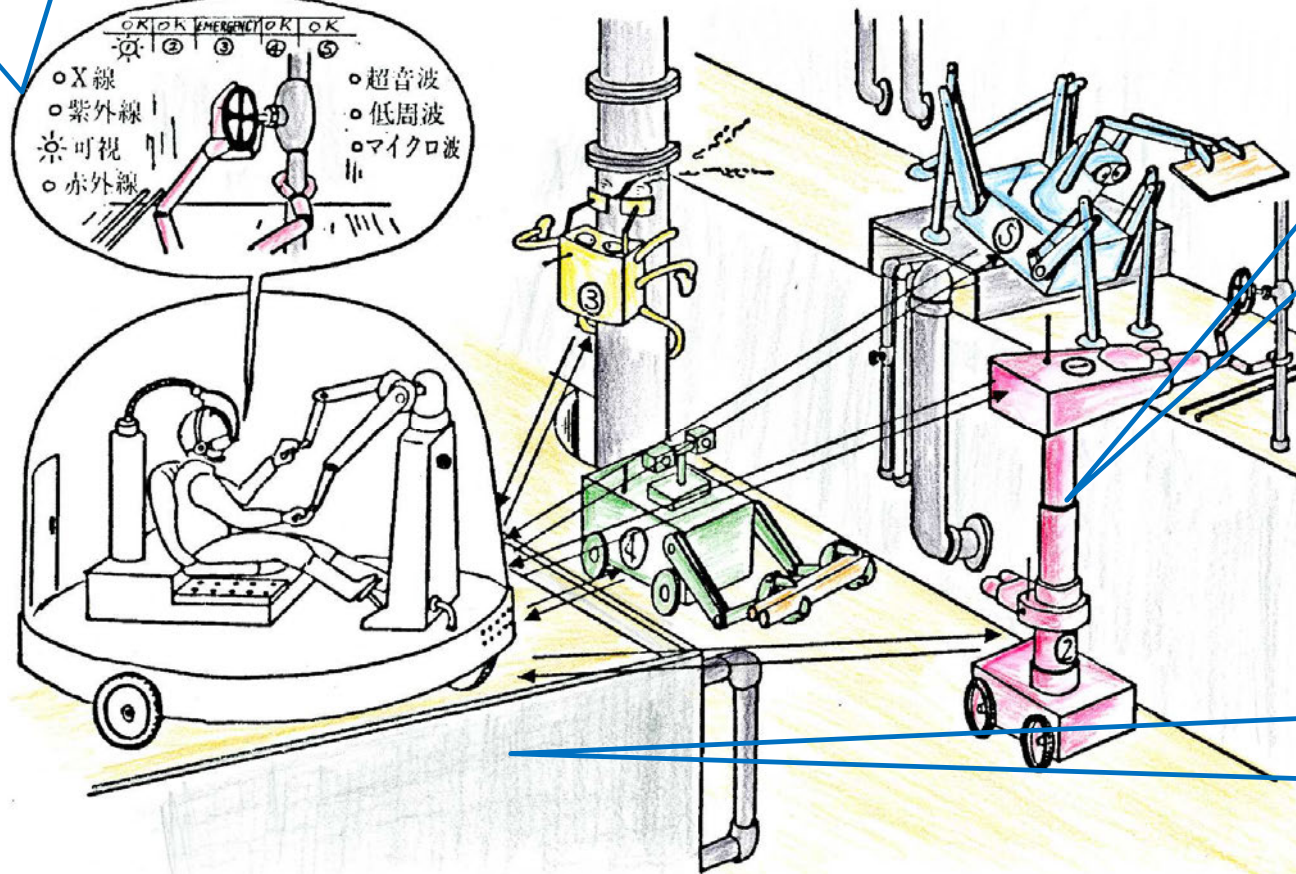
8

AIによる人間能力の拡張
(知識の利用と感覚の拡張)



知能ロボットによる自律作業と必要に応じての知能ロボットへのレイグジスタンスによる臨機応変の作業

管理制御による複数の知能ロボットの作業分担あるいは共同作業

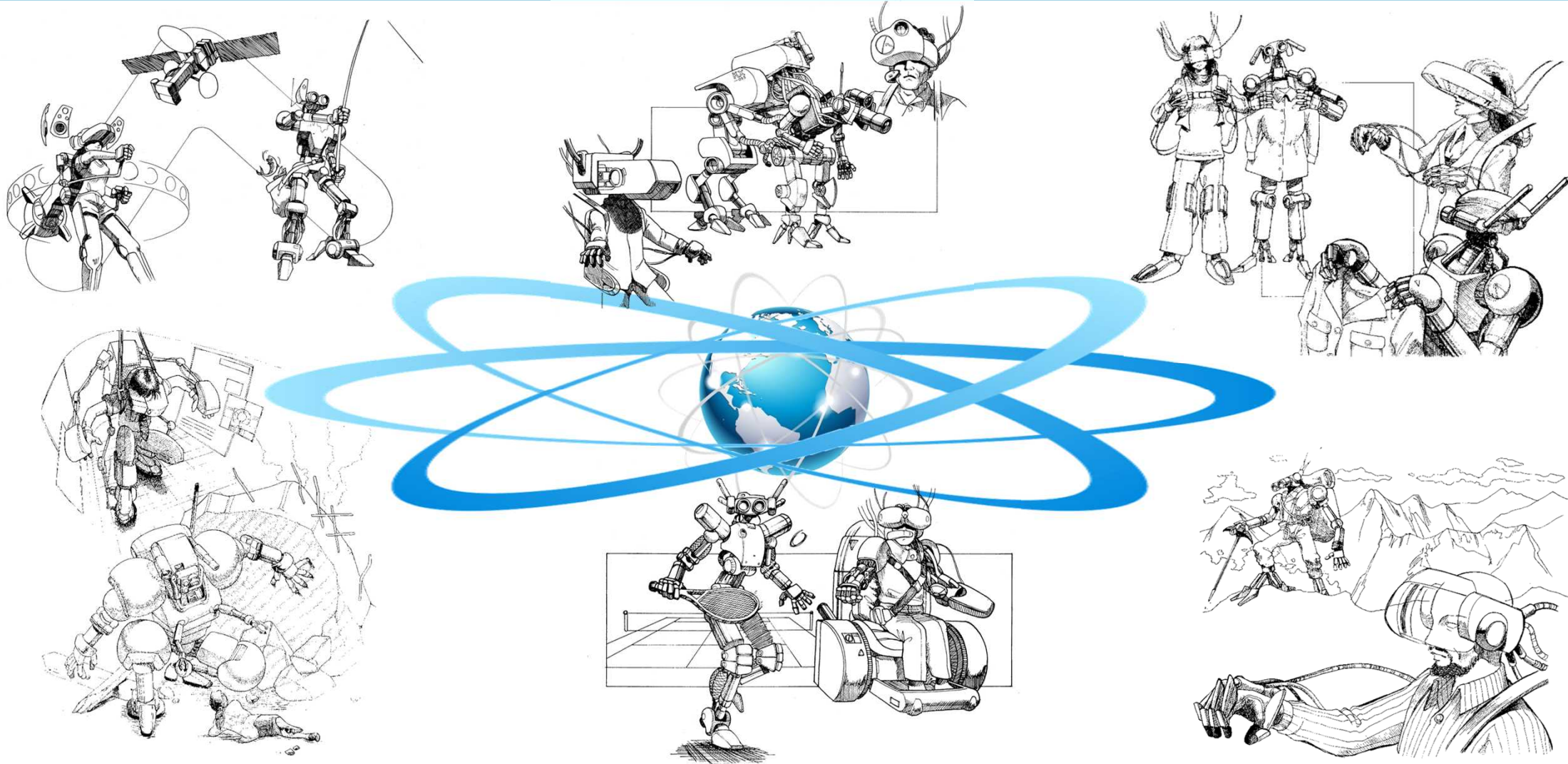


ネットで繋がるテレグジスタンス：

世界中の分身ロボットを皆が自由にログインして使う

7月16日大公開

9



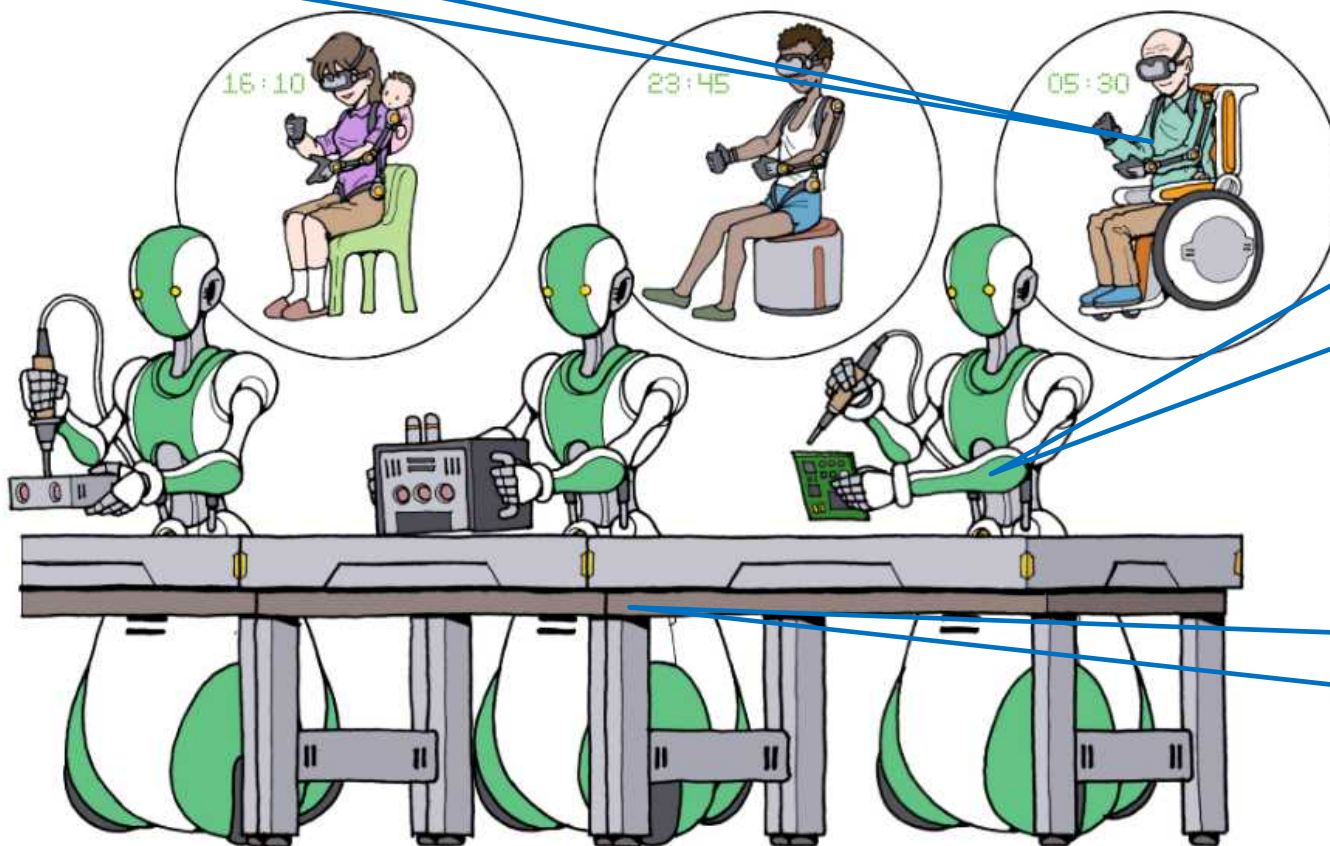
テレグジスタンスで遠隔就労

10

AIによる人間能力の拡張
(知識の利用と感覚の拡張)

知能ロボットによる自律作業と必要に応じての知能ロボットへのテレグジスタンスによる臨機応変の作業

管理制御による複数の知能ロボットの作業分担あるいは共同作業

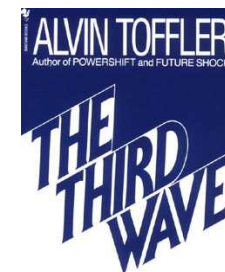


現在の課題

- 大都市への一極集中
- 高齢者の増加
- 子育てと労働が両立できず
少子化が進む
- 移民を増やすと新たな問題の可能性がある
- 通勤に時間をとられ自分の時間を持ってない



- これまでの在宅勤務
 - 基本的にコンピュータに向かって行う仕事
 - 映像の伝送／会話／資料の共有
 - 身体的作業は不可能



1980年 Alvin Toffler
The Third Wave
第三の波
The Electronic Cottage
在宅勤務の最初の提案

THE CLASSIC STUDY OF TOMORROW

そのためのイノベーション

人の移動の概念を変える

身体の移動ではなく 身体機能の移動：

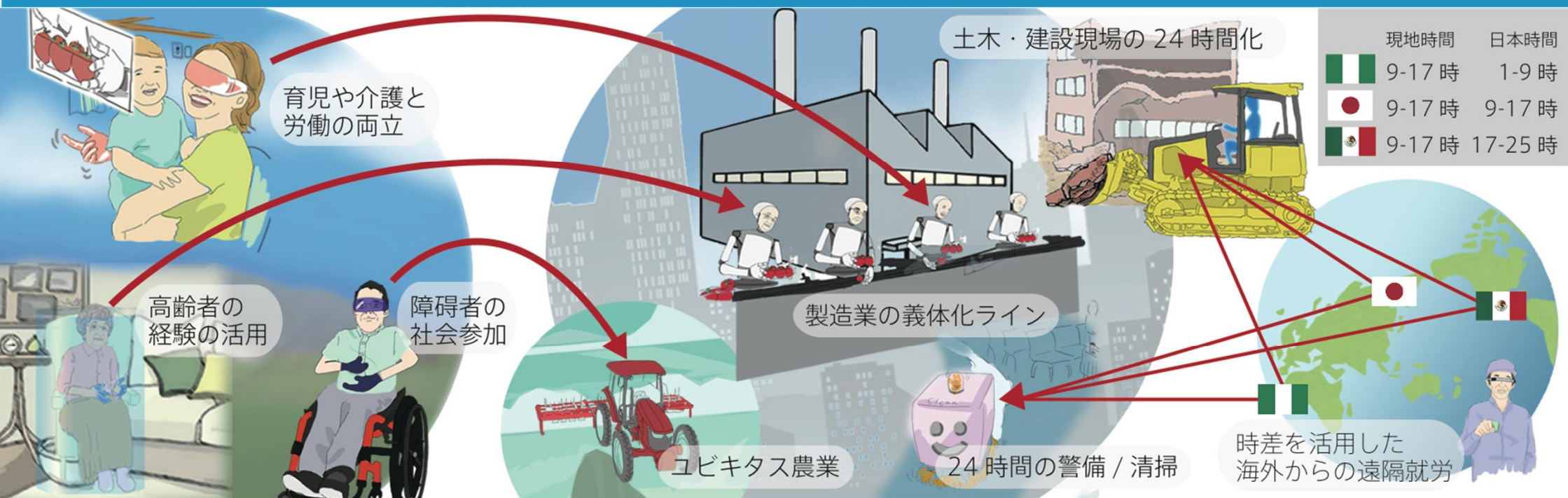
トレイグジスタンス社会

- 労働力の移動速度を物質の移動速度から情報の移動速度へ
- 義体による身体機能の補綴と拡張
- これからの在宅勤務
 - 実際にその場に居ないと行えない身体的労働を遠隔から行える
 - 本人の身体的スキルをそのまま活かすことができる
 - 必要に応じて身体機能の補完や拡張が行える



➡ テレイグジスタンスを応用した義体化技術による解決

提案する社会像



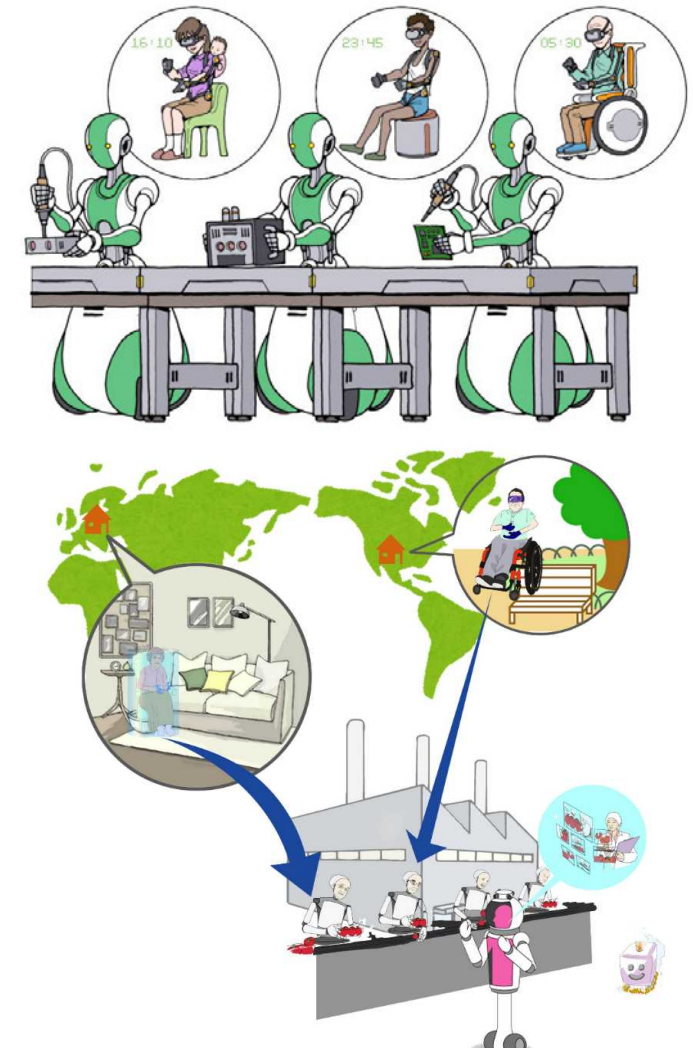
- 義体化技術 による快適遠隔労働環境の実現
 - － 身体機能の瞬間的な空間移動
 - － 「職場」と「住環境」の空間的制約からの解放
 - － 高齢者／障害者／育児中・介護中の人／海外から でも労働参加が可能

テレグジスタンスにより 快適遠隔労働環境が実現すると…？

7月16日 大阪・Labb.

14

- **労働環境の問題が解消**
 - 悪環境で働かなくても済む
- **労働者不足を解消すると共に生きがいを提供**
 - 高齢者や障害者の身体的不利益を義体化技術で補い、豊富な経験を積極的に活用
- **高齢者に蓄積されたノウハウの再活用**
- **子育てをしやすい社会に**
 - 男女問わず育児しながらの労働参加が可能
- **移民の問題なく外国からの労働力を得られる**
 - 国外の労働者も遠隔から就労できる
- **夜勤が不要に**
 - 時差を利用することで24時間の労働力を複数の国外拠点から確保できる



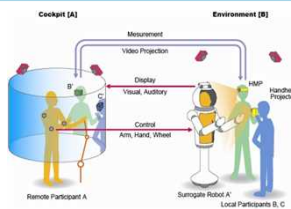
そのほかにも…

- **職能に応じた人材の最適配置が行える**
世界的に一流のスキルを有する技術者・医師等の専門家の招聘も容易に
- **グローバルなビジネスにおける移動による時間的コストを解消**
- 通勤に伴う移動が不要となり**交通問題を緩和**
- 職住近接が必ずしも必要ではなくなり**都市への人口集中が緩和**される
- ワーク・ライフ・バランスを改善し本人が住みたい場所に住んで、**生きがいのある生活を行える**ように
- 災害時や非常時の**緊急対応を安全な場所から瞬時に**
- 常時の医療や介護／医師や専門家の過疎地への派遣
- 新たな観光・旅行・ショッピング・レジャーなどの**産業創出**



館研究室 テレイグジスタンス研究の変遷 1980-present

16



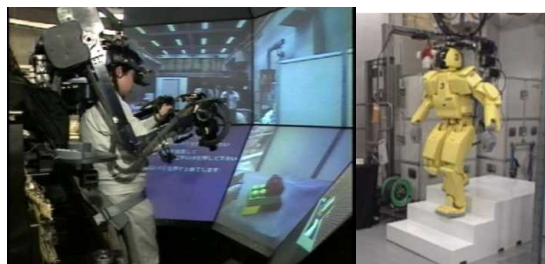
TELESAR IV : TWISTER を用いる Mutual Telexistence (2011年)



Haptic Telexistence: TELESAR V (2012年)



普及版 TeluBee(2013年)



二足歩行ロボットへのTelexistence(2000年)



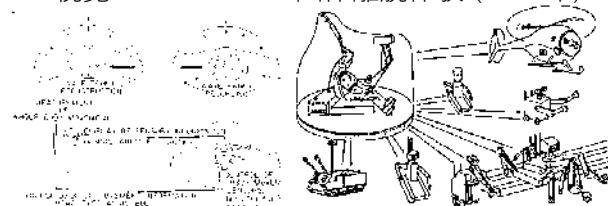
TELESAR II: Mutual Telexistence (2005年)



TWISTER to TWISTER (2010年)

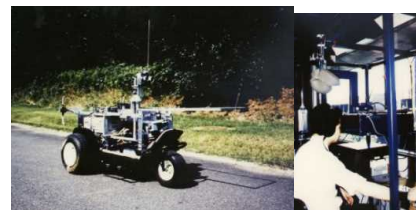
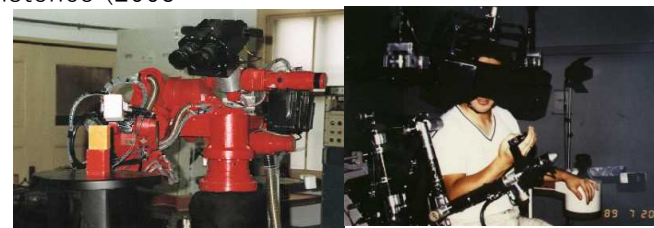


視覚telexistenceと幽体離脱体験 (1981年)



最初のアイディア(1980年)

人間型ロボット
TELESAR への
テレイグジスタンス
(1989年)

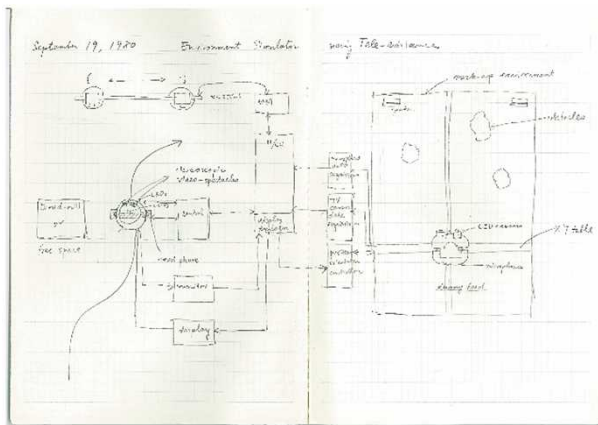


移動型テレイグジスタンス (1985年)

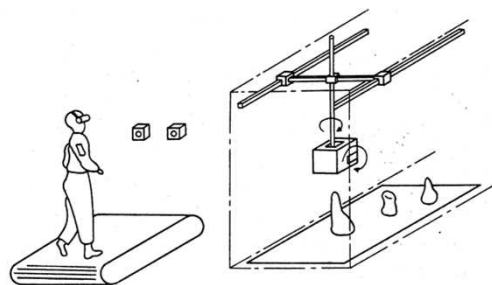


VR世界へのtelexistence (1991年)

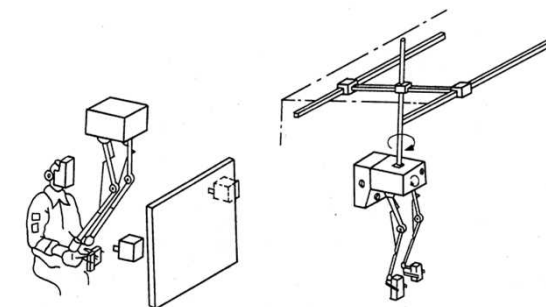
トレイグジスタンスの黎明期 1980-1982



トレイグジスタンスに思い至る
(September 19, 1980)



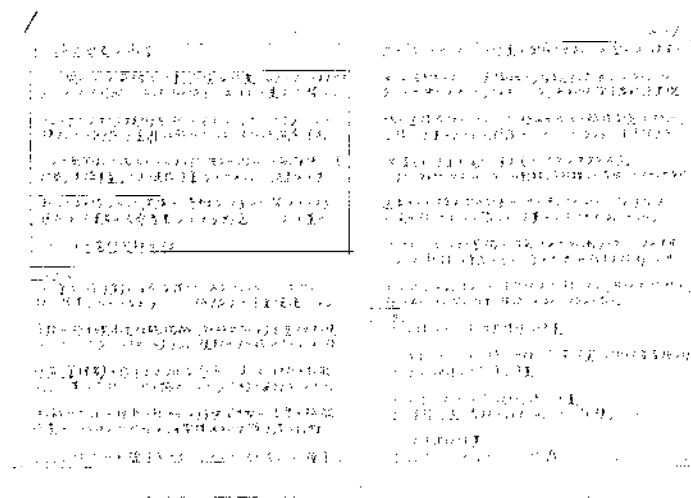
盲人用歩行補助器評価装置(1980.12.26出願)
特許第1462696号



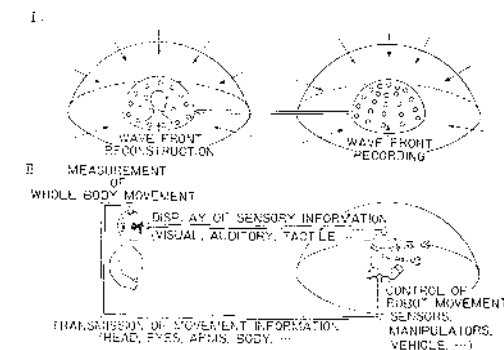
感覚情報呈示機能をもったマニピュレータ(1981.1.11出願)
特許第1458263号



視覚トレイグジスタンスで自分が自分を見る (1981-1982)



大型プロジェクト極限作業ロボットの原案を起草(1982年)

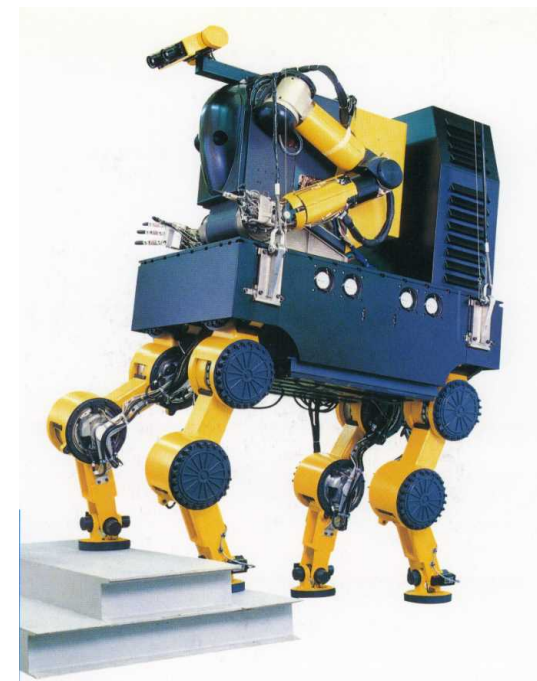
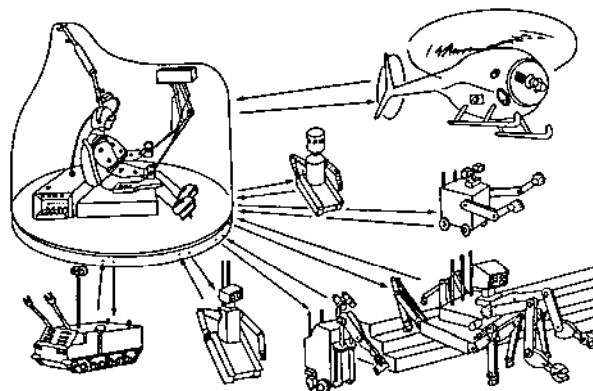
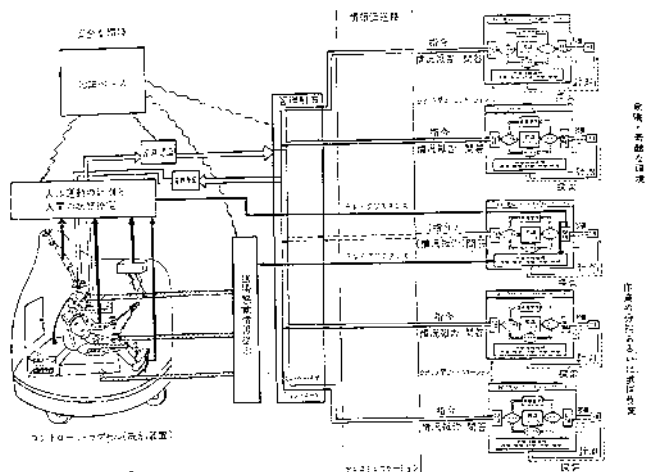


最初の学会発表 (July 28-30, 1982
@SICE)

通商産業省大型プロジェクト「極限作業ロボット」1983-1991

18

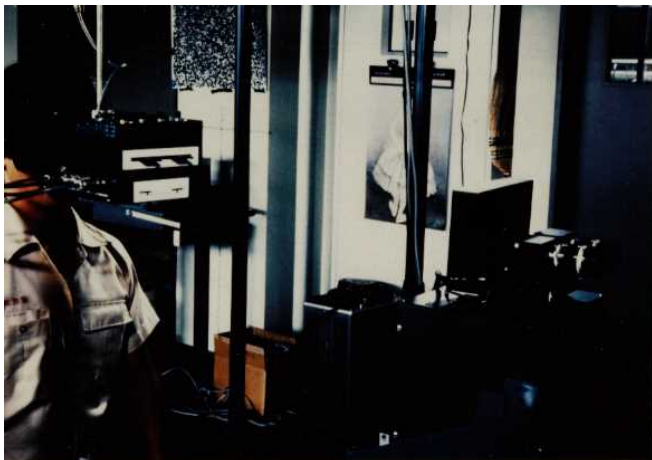
レイグジスタンスで、知能ロボットを多数利用できる。常時は、多数の知能ロボットを管理制御し、必要に応じて、その内の任意のロボットに、レイグジスタンスで、“降臨”する。



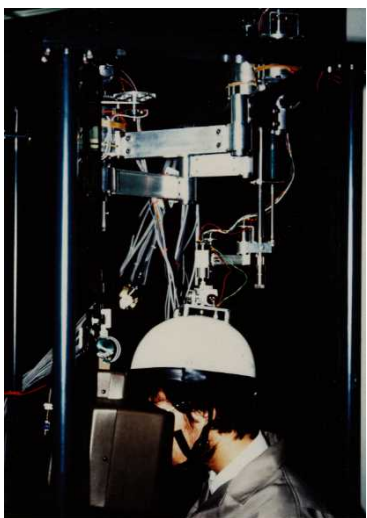
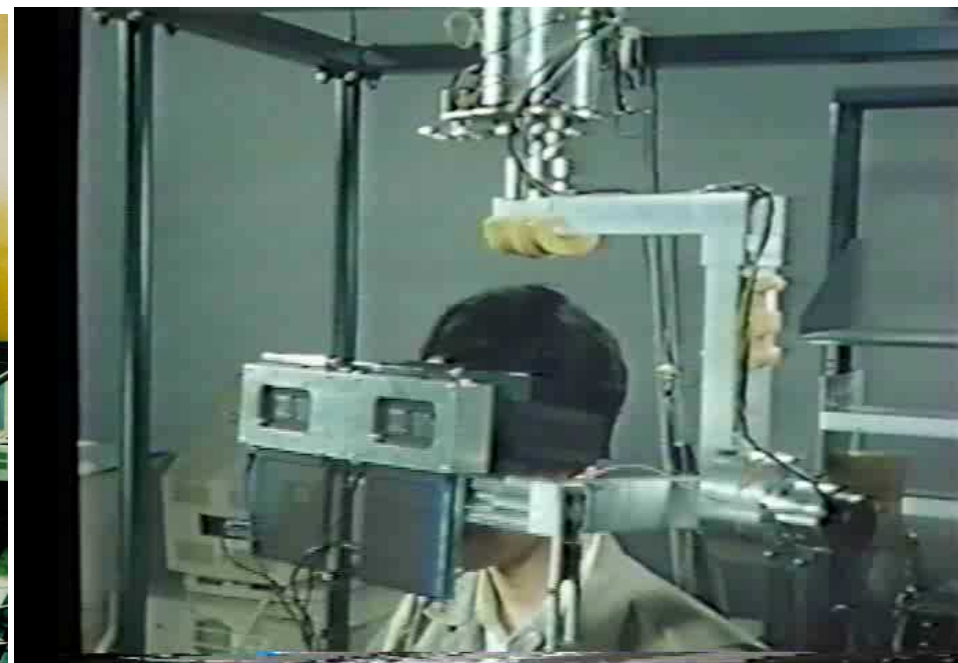
レイグジスタンス (teleexistence) を1980年に提唱し、1982年には「極限作業ロボット」プロジェクトの原案を起草。1983年以降、レイグジスタンスは大型プロジェクトの一環として進展する。

舘 暲, 小森谷清: 第三世代ロボット, 計測と制御, vol.21-12, pp.1140-1146, 1982.

視聴覚のレイグジスタンス装置 1982-1984



最初の実験装置(1982)

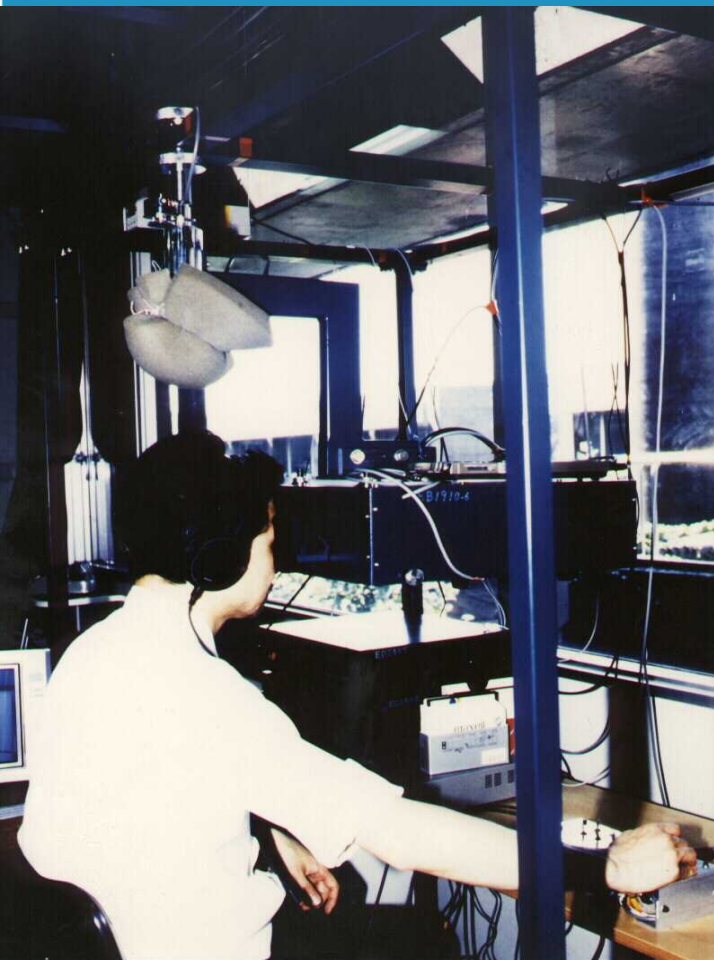
マスタ・スレーブ型
ディスプレイ(1983)

インピーダンス制御型ディスプレイ(1984)

S.Tachi et al.: Tele-existence, in A.Morecki et al. ed., Theory and Practice of Robots and Manipulators, Kogan Page, 1985.

移動型テレグジスタンス televehicle 1985

20



遠隔からでも、あたかも移動ロボットに乗り込んだような感覚でロボットを移動制御できる

Mobile Telexistence System: Televehicle (1985)



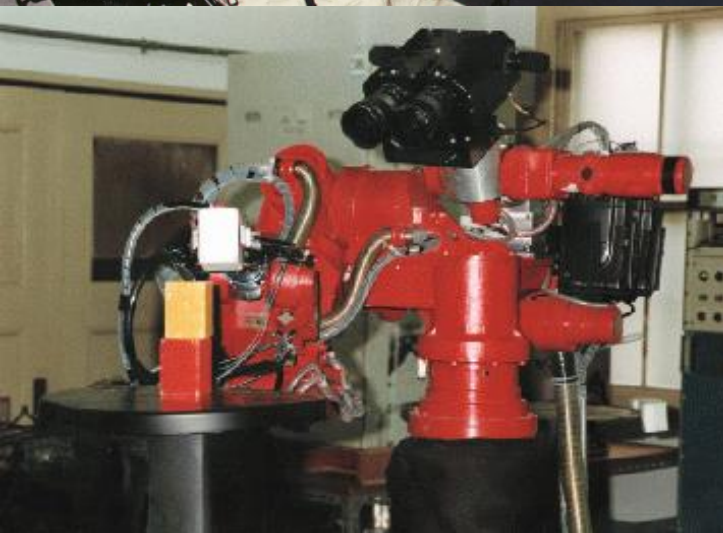
S. Tachi, H. Arai, I. Morimoto and G. Seet: Feasibility Experiments on a Mobile Tele-existence System, Proceedings of the International Symposium and Exposition on Robots, pp. 625-636, Sydney, Australia (1988.11)

人型トレイグジスタンス

TELESAR (Telexistence surrogate anthropomorphic robot) 1986-1989

TACHIBANA LAB.

21



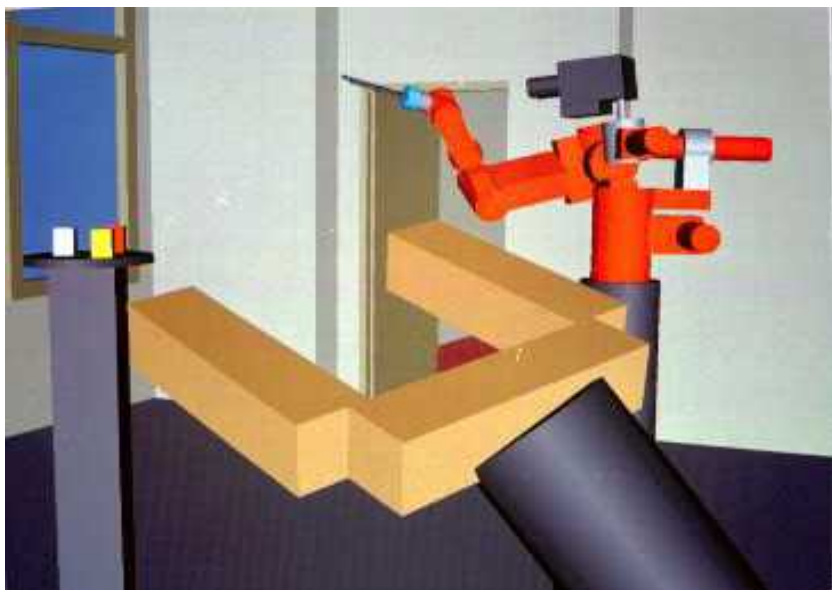
人型ロボット TELESAR に入り込んだような臨場感を得ながらロボットを自分の分身のように自在に制御できる (1989)



Susumu Tachi and Ken-ichi Yasuda: Evaluation Experiments of a Telexistence Manipulation System, Presence, Vol.3, No.1, pp.35-44 (1994.2)

VR環境へのトレイグジスタンスと拡張型トレイグジスタンス 1989-1995

22

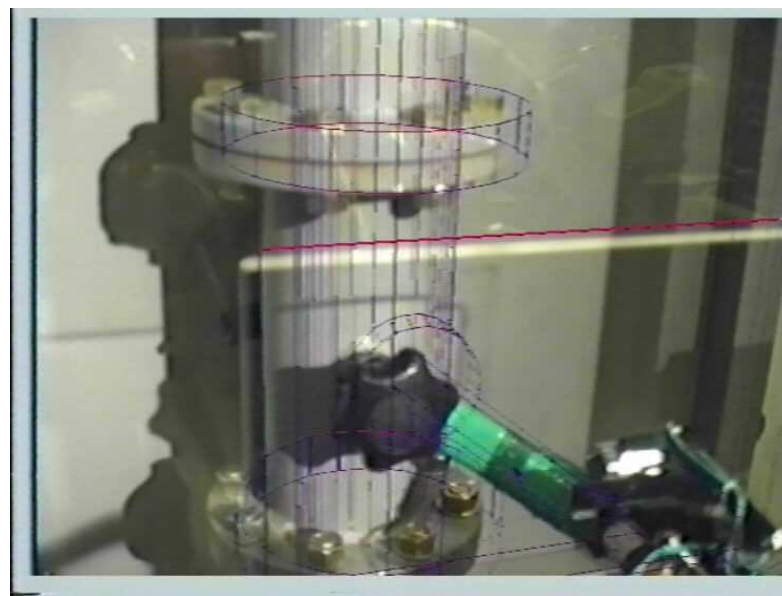


拡張型トレイグジスタンス

E.Oyama, N.Tsunemoto, S.Tachi and Y.Inoue:
Experimental Study on Remote Manipulation
Using Virtual Reality, *Presence*, Vol.2, No.2,
pp.112-124 , 1993.

VR空間へのトレイグジスタンス

Y. Yanagida and S. Tachi: Coherency of
Kinesthetic and Visual Sensation in Virtual Reality,
*Proceedings of 1994 IEEE International
Conference on Multisensor Fusion and Integration
for Intelligent Systems (IEEE-MFI '94)*, pp.455-
462, Las Vegas, Nevada, USA , 1994.



二足歩行ロボットへのテレイグジスタンス 2000

7月6日大分県立大.

1998-2003 経済産業省応用産業技術研究開発「HRP:ヒューマノイド・ロボティクス・プロジェクト」

23



S.Tachi et al.: Telexistence Cockpit for Humanoid Robot Control, *Advanced Robotics*, vol 17, no. 3, pp. 199-217 ,2003.

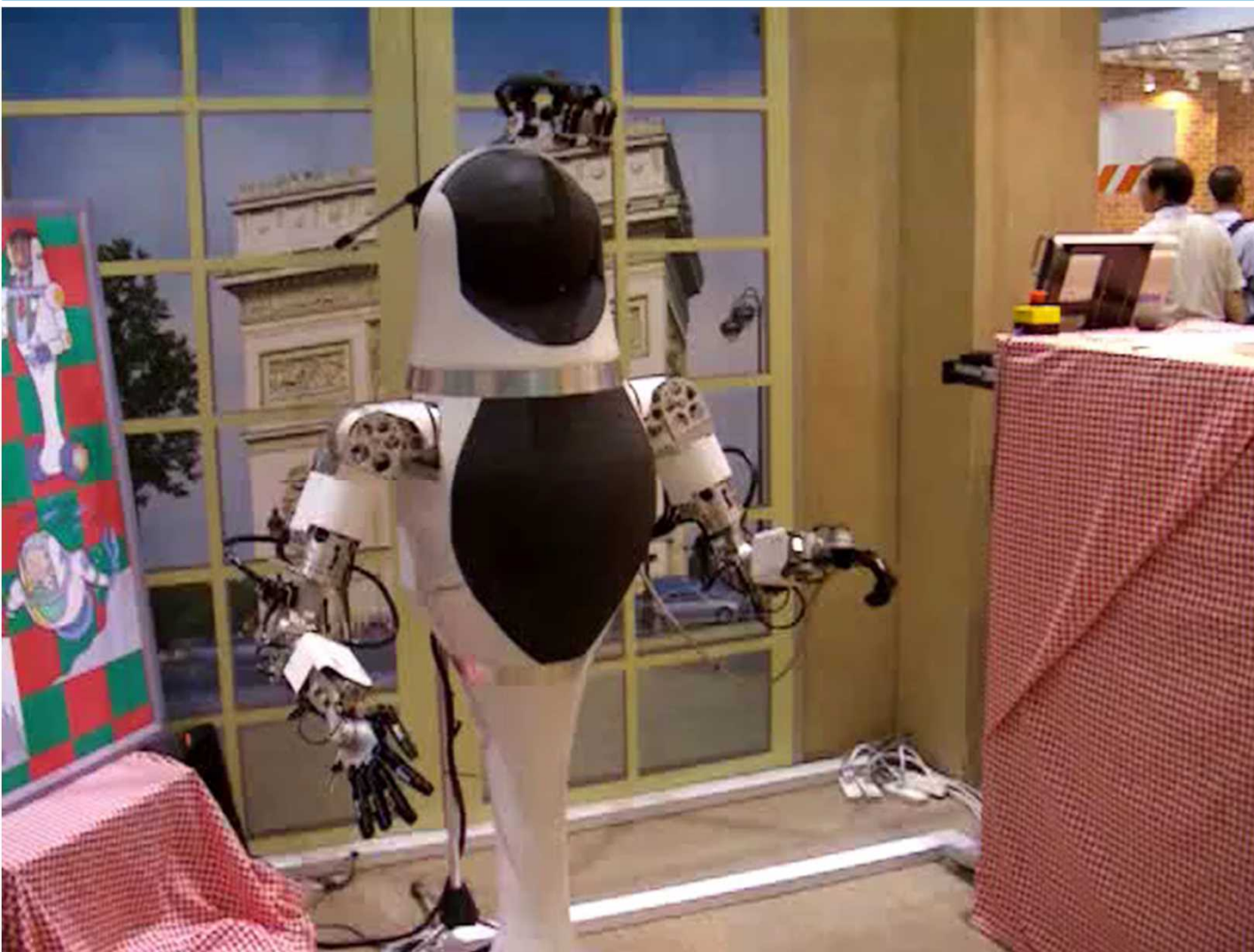
相互テレイグジスタンス TELESAR II 2005 @愛知万博

7月15日-16日

2000-2006 JST CREST「テレイグジスタンスを用いる相互コミュニケーションシステム」

2004-2006 NEDOプロトタイプ開発支援事業「再帰性投影技術を用いた相互テレイグジスタンスロボットの研究開発」

24



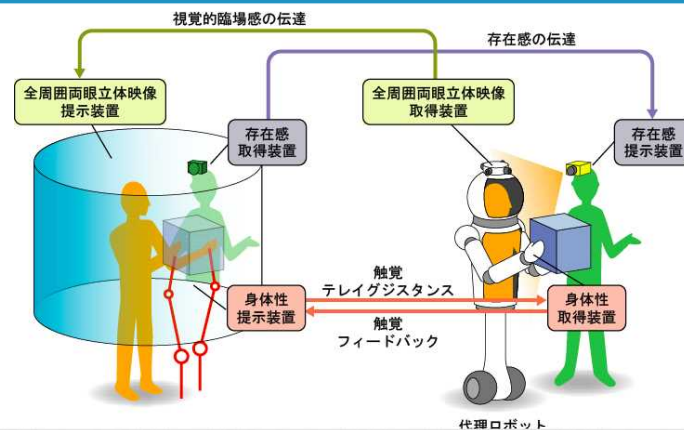
2006年Good Design賞(新領域
デザイン部門)を受賞

多人数と集える相互テレグジスタンス TELESAR IV 2010

7月6日 大宮 LAB.

25

2008-2011総務省SCOPE「多人数が自由に行動する実空間への身体性を有したテレグジスタンス技術の研究開発」

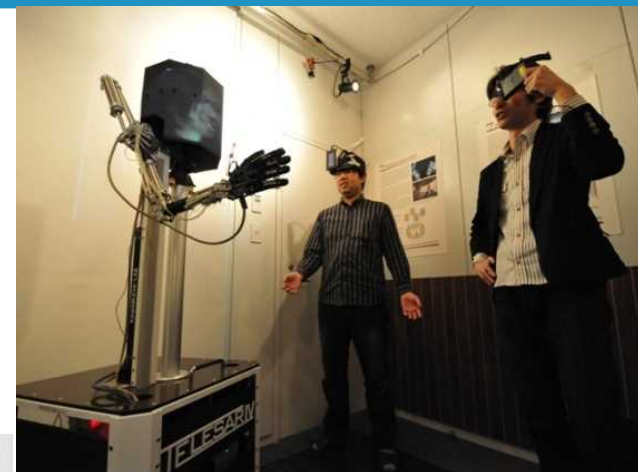


Mutual Telexistence Surrogate System
TELESAR4
telexistence in real environments
using autostereoscopic immersive display

Susumu Tachi, Kouichi Watanabe, Keisuke Takeshita,
Kouta Minamizawa, Takumi Yoshida, and Katsunari Sato
Keio University

IROS2011

7月6日 大宮 LAB.



代理ロボットTELESAR4の相対位置にあわせてTWISTER周囲を回る可動カメラが遠隔参加者の表情をリアルタイムで取得伝送し、それを再帰性投影技術(RPT)を用いてTELESAR4に投影することで、現地参加者は遠隔参加者の存在感を感じながらコミュニケーションできる。

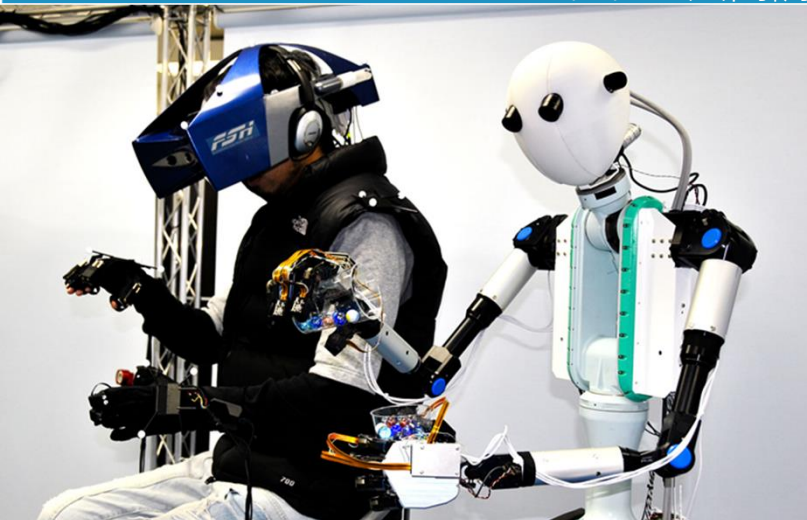
TELESAR4に搭載した全周囲立体カメラが、現地の360度のステレオシーンを取得伝送し、それをTWISTERに提示することで、遠隔参加者は、その場にいるのと同等の臨場感ある光景を享受しつつ現地参加者とコミュニケーションできる。

細やかな触感を伝えるHaptic Telexistence Robot: TELESAR V 2012

TACHIKAWA LAB.

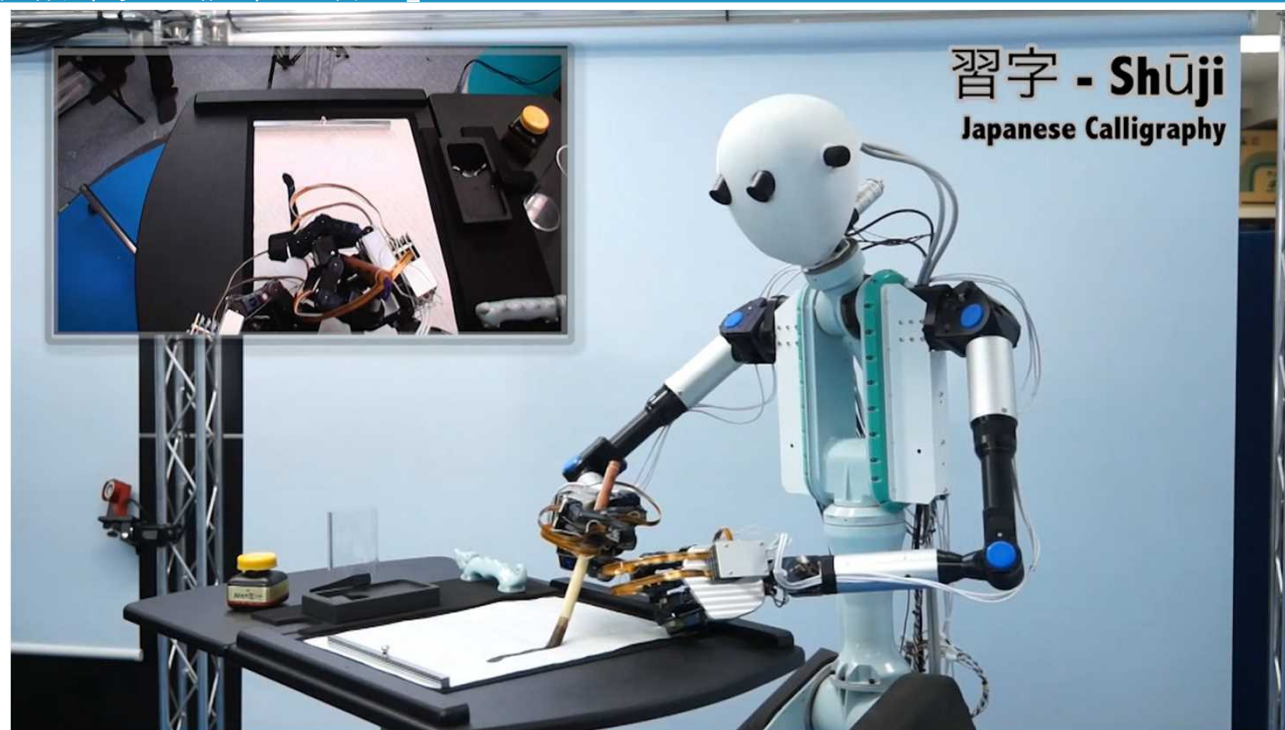
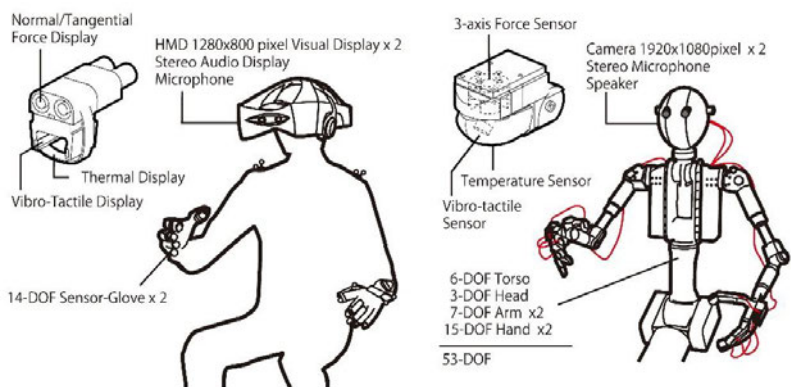
26

2009-2015 JST CREST「さわれる人間調和型情報環境の構築と活用」



Master (Local)

Slave (Remote)



習字 - Shūji
Japanese Calligraphy

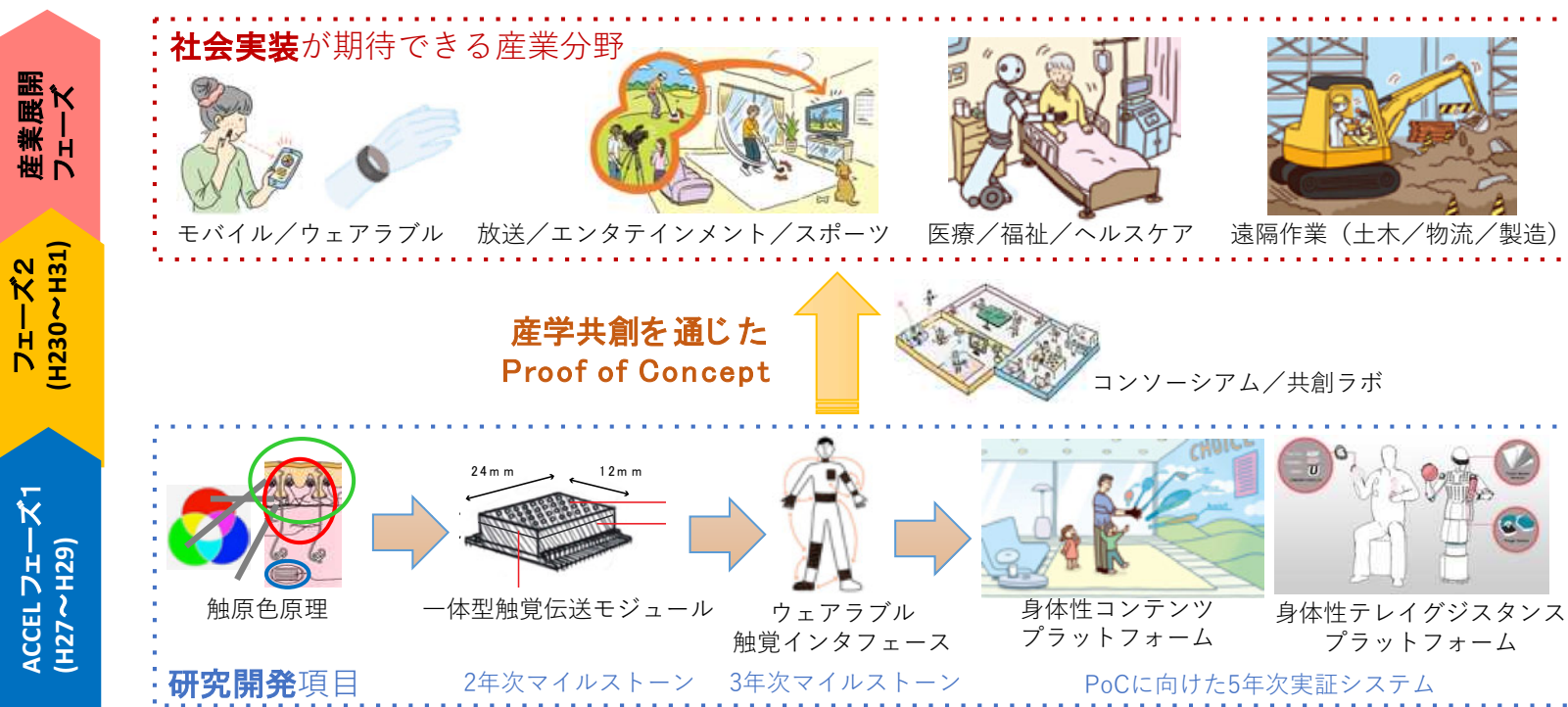


- Susumu Tachi, Kouta Minamizawa, Masahiko Furukawa and Charith Lasantha Fernando: Telexistence - from 1980 to 2012, Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2012), pp.5440-5441, Vilamoura, Algarve, Portugal (2012.10)
- Charith Lasantha Fernando, Masahiro Furukawa, Tadatoshi Kurogi, Sho Kamuro, Katsunari Sato, Kouta Minamizawa and Susumu Tachi: Design of TELESAR V for Transferring Bodily Consciousness in Telexistence, Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2012), pp.5112-5118, Vilamoura, Algarve, Portugal (2012.10)

ACCEL「身体性メディア」プロジェクト 2014-2019

27

触原色原理に基づき「**触覚**」の伝送技術を実用化し
視聴覚と同様に情報メディアとして扱えるようにすることで、
人の**能動的な身体的経験**を時間・空間を超えて伝える「**身体性メディア**」
の技術的基盤を構築し、産業展開へ向けたコンセプト実証を行う



ACCEL「身体性メディア」研究開発体制

研究代表者

舘 暲

東京大学名誉教授



プログラスマネージャー

野村 淳二

国立研究開発法人科学技術振興機構
プログラスマネージャー



一体型触覚伝送モジュール開発G



梶本裕之
電気通信大学
教授



佐藤克成
奈良女子大学
講師

ALPS

アルプス電気株式会社

MekTEC

日本メクトロン株式会社

PM補佐
南澤孝太
慶應義塾大学
准教授



ウェアラブル
触覚ディスプレイ
開発G



篠田裕之
東京大学
教授

身体性コンテンツ
プラットフォーム開発G



Roshan
PEIRIS
慶應義塾大学
特任講師

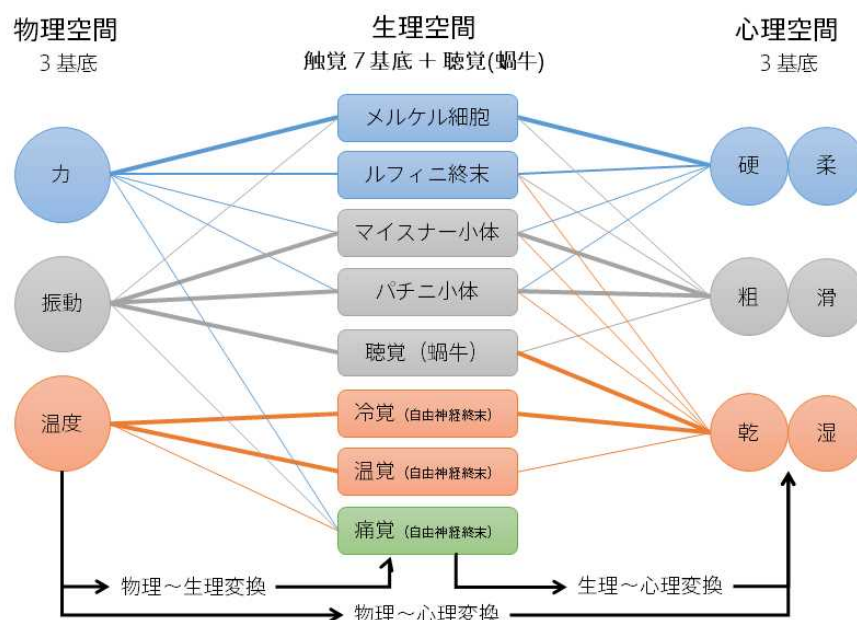
身体性トレイグジスタンス
プラットフォーム開発G



Charith
Fernando
慶應義塾大学
特任講師

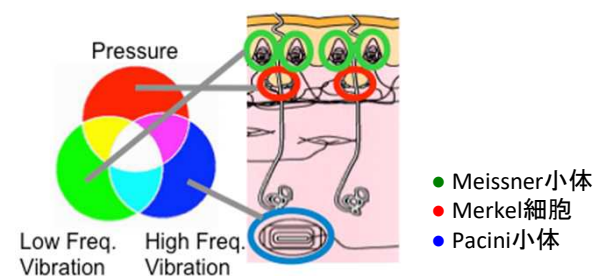
触原色原理

視覚における三原色と同様
人の知覚原理に基づき触覚を分解・合成する

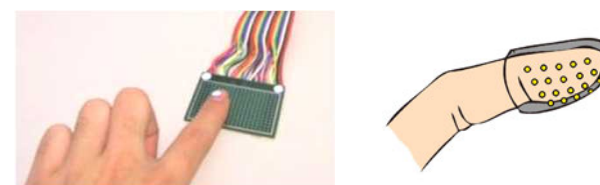


物理特性(凹凸形状、摩擦、熱、弾性)
生理特性(力、振動、温度)

物理空間→生理空間：皮膚の構造



生理空間→心理空間：電氣的刺激



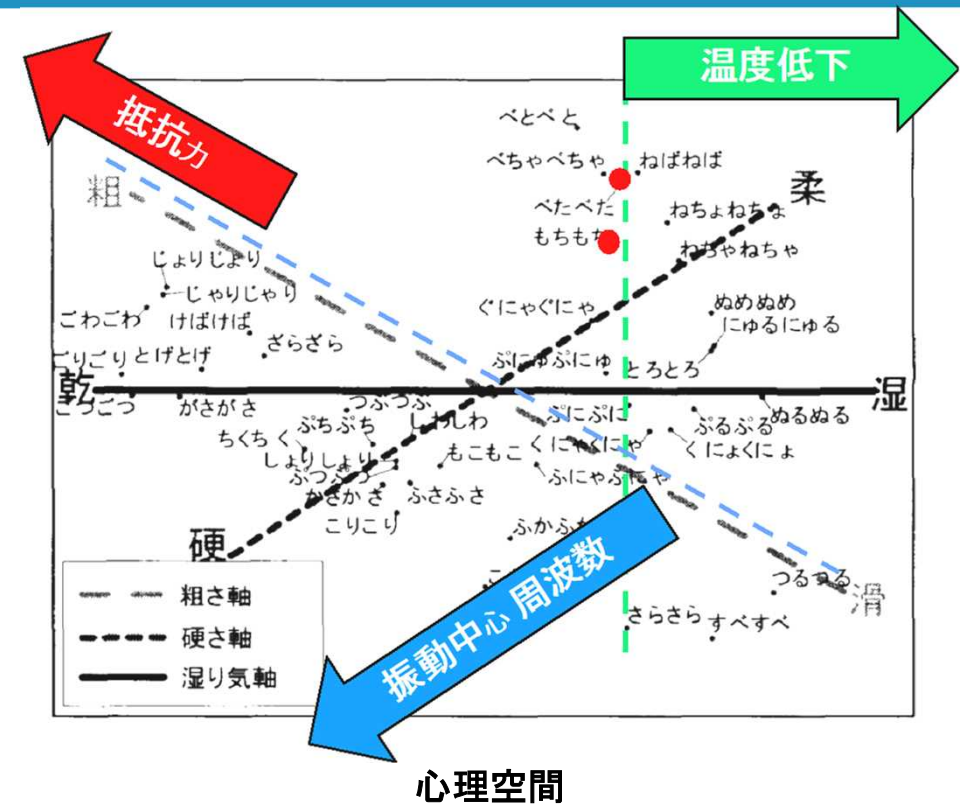
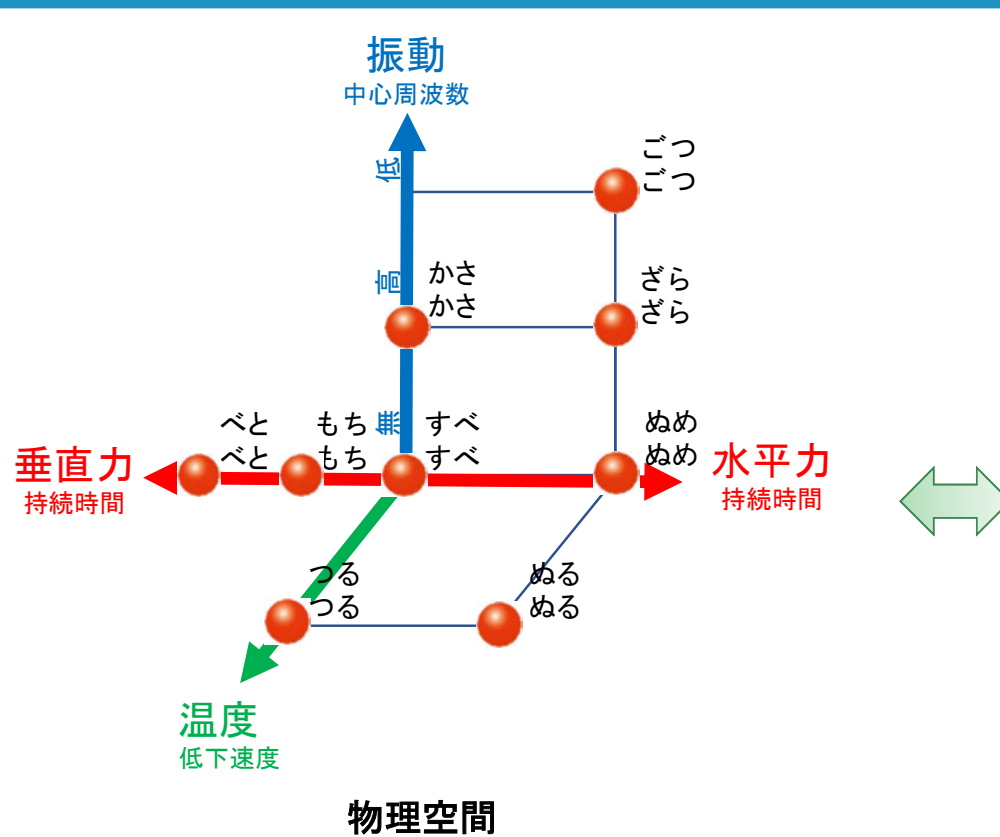
物理空間→心理空間：機械的刺激



触原色原理による触感の表現

7月16日 大分県立大学

30



- オノマトペで表現されるような触感を生じさせるための3原触の提示方法を究明。
特に温度刺激の活用や、電気刺激による垂直・水平方向の力の提示により触感領域を拡大

➤ 具体的には、垂直力を用いた「ベタベタ感」、冷覚刺激を用いた「水濡れ感」等を確認済み

【特願2016-077692】 (ACCEL基本特許1)
【WO2017/175868A1】

ウェアラブル触覚伝送技術の開発



3 原触計測グローブ

3 原触提示グローブ

MekTEC
日本メカトロニクス株式会社



国際ロボット展の反響を受け、今後、Medtec（医療機器展）やウェアラブルEXPO等へ出展予定。自動車・製造・医療等の分野におけるVR環境での利活用を探索。



全身触覚スーツ Synesthesia Suit



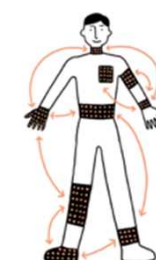
Sony
Interactive
Entertainment



PlayStation.VR



PlayStation VR用ゲームタイトル Rez infinite のプロモーションとして国内外で展示。受賞多数。エンタテインメント分野への産業展開。



2次元通信ウェア

TEIJIN



2次元通信技術により、衣服の全面に無配線で電力とI²C通信を供給可能なスマートウェアを帝人と共同開発。今後ウェアラブル産業分野へ展開。



触感増強デバイス
HapticAid

Stanford
MEDICINE



スタンフォード医学部と触診における利活用に関する共同研究を予定。



FUJITSU



足裏への触覚提示による歩行運動への影響を確認。歩き方を改善する靴としての展開可能性を検討中。

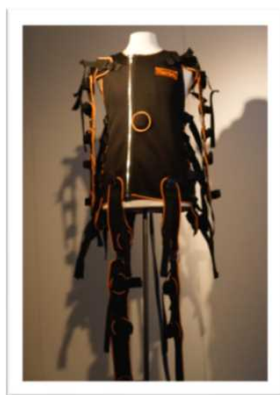
触感提示シューズSTEP

コンセプト実証システムの構築

人の様々な身体的経験を記録・伝送・創造・体験できる身体性コンテンツプラットフォーム 33

➤ 3原触コンテンツプラットフォームの構築

- 一体型触覚伝送モジュールの開発 において策定した3原触の合成アルゴリズムやレンダリング技法,
- ウェアラブル触覚伝送技術の開発 において開発した要素技術を統合し, 3原触のVRコンテンツを創造・体験可能な環境を構築



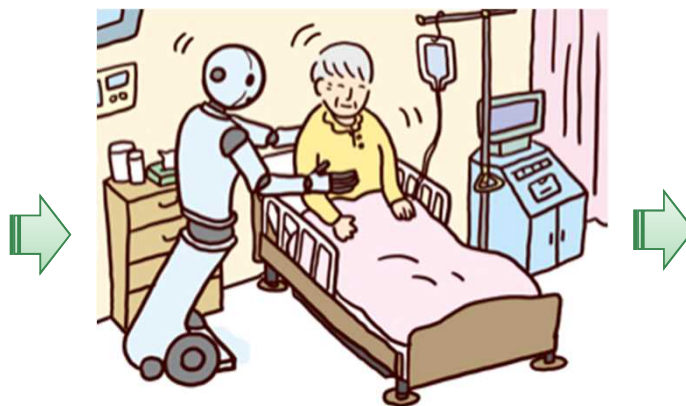
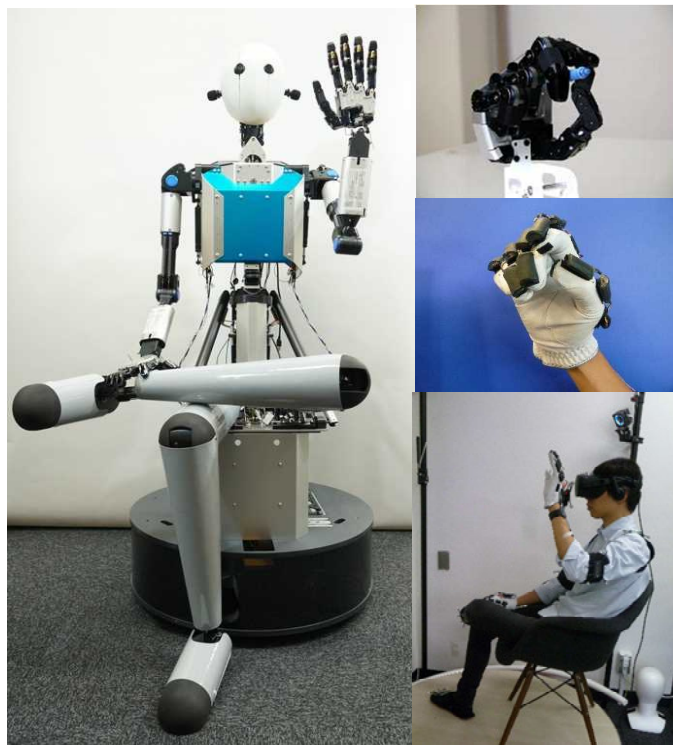
コンセプト実証システムの構築

人の様々な行動と感覚を相互伝送できる身体性テレグジスタンスプラットフォーム

34

➤ 身体性テレグジスタンスプラットフォームの構築

一体型触覚伝送モジュール触覚伝送を組み込んだ次世代型テレグジスタンスプラットフォーム「TELESAR VI」の構築と実証実験



介護施設に遠隔から見舞いに行ったり介護を行ったり、また、夜間・休日等における介護士や看護師、医師不足の問題を念頭に特に **遠隔介護・診療** におけるProof of Conceptを目指す。

発売されているテレプレゼンス Telepresence

35

TiLR (Telepresence internet-connected Low cost Robot) Robot Dynamics 社 が 2007年に テレビ会議用に販売 MILO Telepresence Platform (2004) の後継機種；現在は販売されていない。



Vgo は、2007年に設立されたVGo Communications, Inc の製品で \$6,000



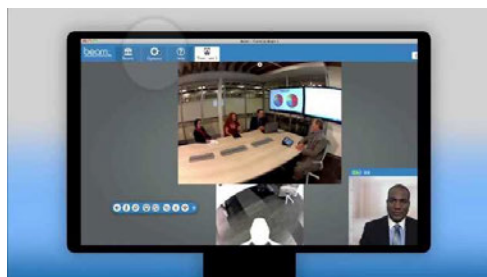
Anybots社の「QB Avatar」 \$9,700
2009国際ロボット展で紹介される



2013年から Double Robotics 社のDoubles \$ 2,500

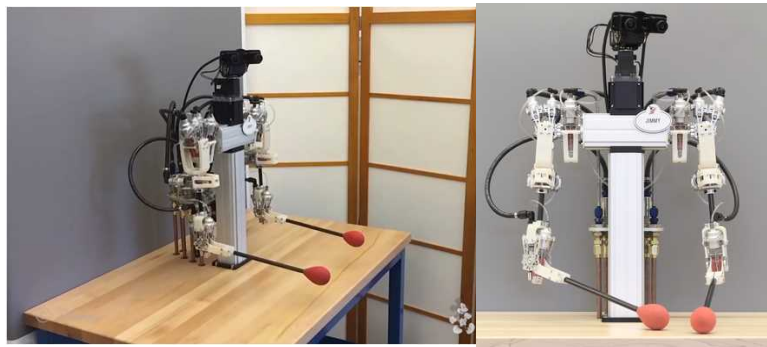


2012年 Suitable Technologies社の「Beam」 \$16,000



ここにきて企業からも、テレグジスタンスロボットが続々と発表され始めており、テレグジスタンス時代の幕開けを予感させる。

2016年5月16日
Disney Researchが
Telexistence
Robot開発



遠隔出社プロジェクト開始
株式会社オリイ研究所(2017年7月21日)



新日鉄住金ソリューションズとNTTドコモが
共同開発した人型ロボット遠隔操作システム
2017年11月8日



トヨタがヒューマノイドロボット「T-HR3」を
発表、分身のように遠隔操作が可能
2017年11月21日

テレイグジスタンス株式会社も、JST ACCELプロジェクトから生まれる 2017

37



2018年5月29日 au発表会に於いて、Telexistence株式会社が量産型プロトタイプMODEL H を発表

2018年9月18日-29日 MODEL H を用いて小笠原遠隔体験旅行を実施、100人超が体験した。



距離を超える体験を、みんなに

小笠原 遠隔旅行体験



TELEXISTENCE inc.



AVATAR XPRIZE was selected as next

米国の X Prize Foundation の主催するVioneers Summit が2016年10月に開催された。当該Summitの目的は、来年度の XPRIZEの対象テーマを、9つの候補テーマの中から選ぶことにある。学識経験者や企業のCEO、VCの決定権者などからなる300名のMentor と呼ばれる審査員が、9チームの提案テーマを2日間かけて審査する。館研究室は、Limitless Travel Avatar チームのために、世界で最も進んでいるAvatar であるTELESAR V の実演を行った。

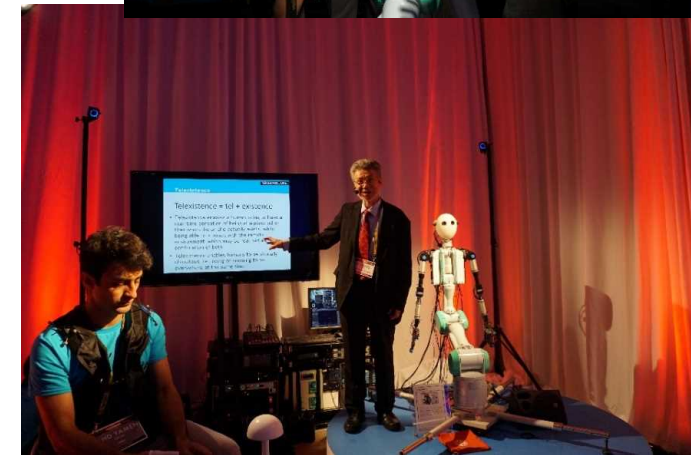
その功が奏して、結果、Limitless Travel Avatarが、次期XPRIZEのテーマとして選定された。2018年から、General Avatar とさらに汎用性を高め応用範囲を広げて、世界中からの参加者によるAVATAR XPRIZEにむけての競争が、開始されることになる

Three Prize Concepts Were Certified By XPRIZE As 'Ready For Launch':

Avatar XPRIZE
Sponsored by ANA

Conquering Cancer
XPRIZE
Sponsored by
Deloitte

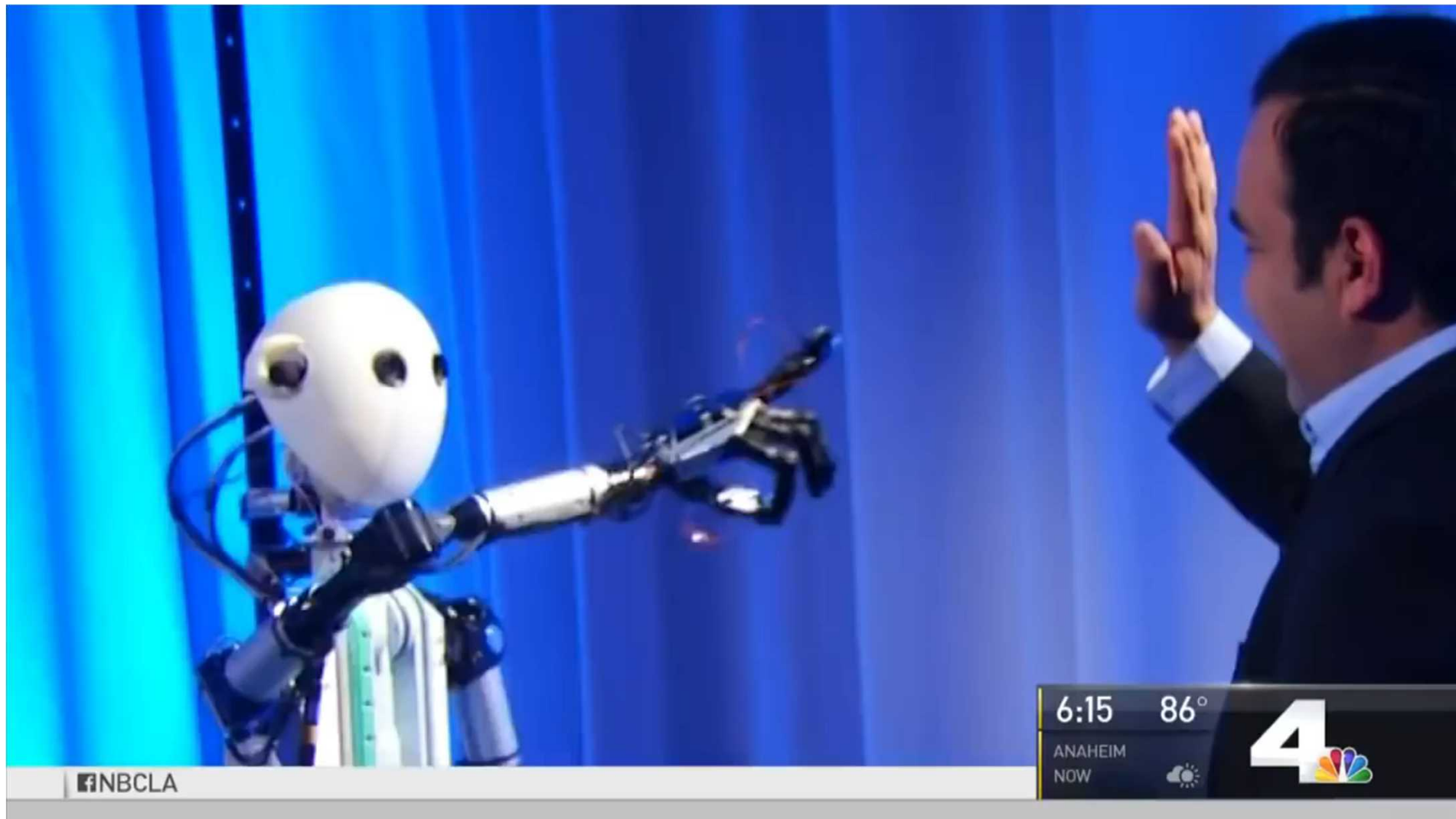
Cat's Iron Will ALS
XPRIZE
Sponsored by
Caterpillar



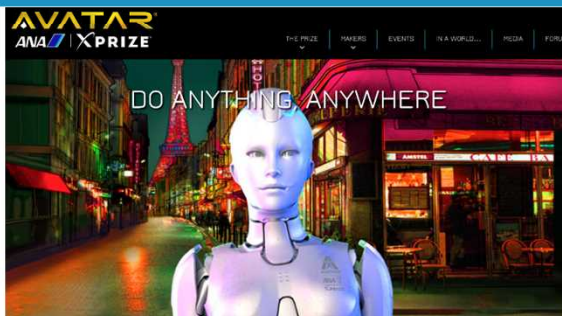
米国XPRIZE財団の次期XPRIZE挑戦テーマが テレイグジスタンス
(アバター)に決定される 2016年10月

7月6日大分県立大.

39



AVATAR XPRIZE



Providing Care

Avatars could give the experience of your presence and care to anyone instantly, regardless of distance.

March 12, 2018

Prize Launch

September 10, 2018

Open Registration

September 10, 2018

Guidelines Release

January 31, 2019

End of Early Registration

September 30, 2019

Close of Registration

April, 2019

Early Registrant Team Summit

October 31, 2019

Qualification Submissions Due

May, 2021

Semifinals Testing

February, 2020

Announce Semifinalist Teams

June, 2021

Finalist Teams Announced

January, 2022

Finals Testing

April, 2022

Grand Prize Winner Announced

Disaster Relief

Avatars could transport critical life-saving skills in real-time to remote, disaster-struck areas where it is too dangerous for humans to go.

Multipurpose Utility

Experts can utilize avatars to provide unique services or rare trade skills for critical maintenance or repairs.

Avatar Challenge

ローンチ

エントリー
受付開始

一次締め
きり

二次締め
きり

資格審査
締めきり

150チーム
を選定

予選大会

20チーム
を選定

本大会

参加料10万円 30万円

賞金2億円

賞金8億円

3/12/2018

9/10/2018

1/31/2019

9/30/2019

10/31/2019

February 2020

May 2021

June 2021

January 2022

テレイグジスタンス社会の展開

41

2019

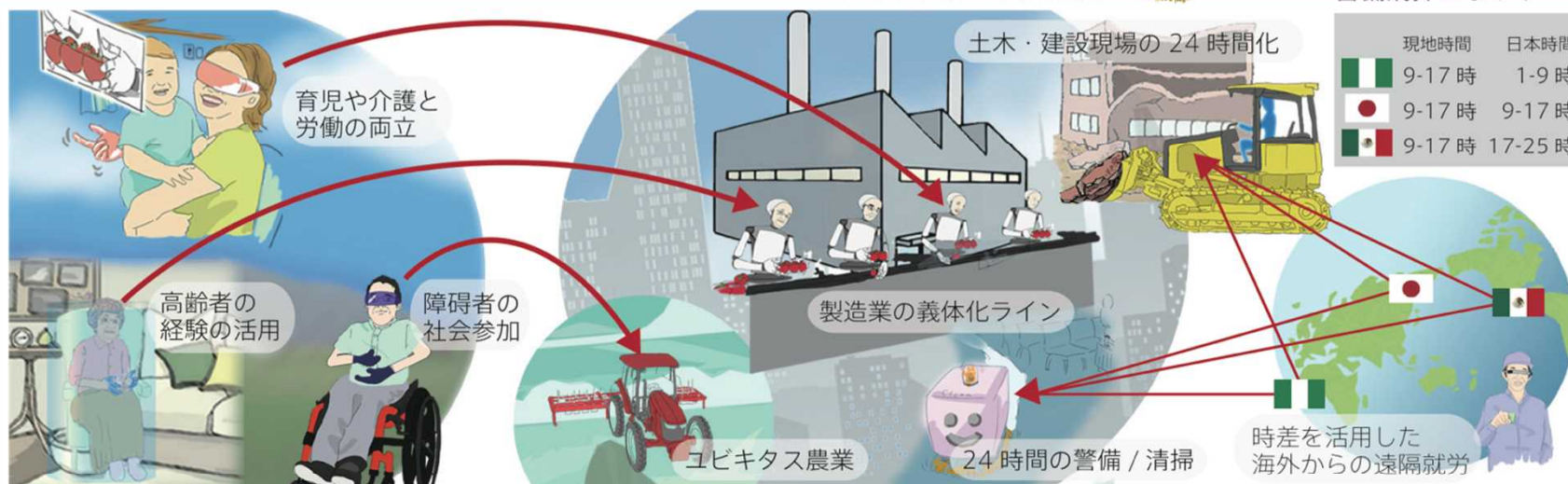
義体化プラットフォームの製品化とビジネス展開

2020

東京オリンピックにおける社会実験



2025



2030

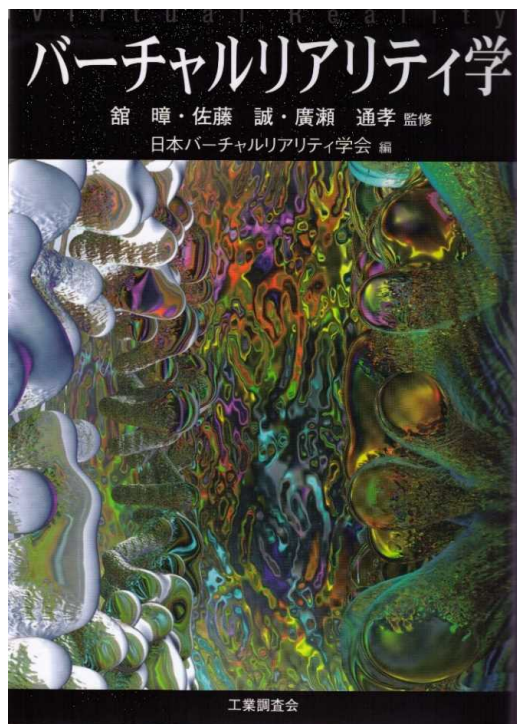
時空間移動産業という、現在の自動車産業に匹敵する規模の新しい産業基盤の創出

世界中に義体を配置し、ユーザーが自分の代理として義体を在宅で自由に利用することで時間と空間の制約を解除し、ユーザーの未知の体験を可能としつつ、人の能力を自在に活用可能として、かつ省エネルギーにも貢献する「テレイグジスタンス社会」が実現される。

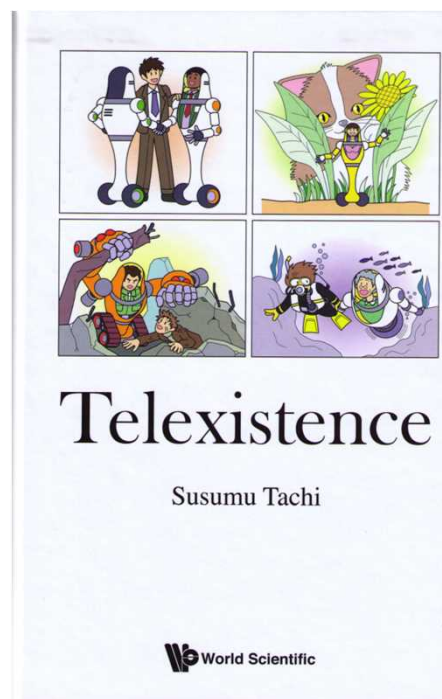
通常時においては、清掃事業、土木建築作業、農林水産業、工場やプラント内の危険劣悪環境内での点検・修理作業、警察、探検、レジャー、テストパイロットやテストドライバーの代替など広い分野で利用される。一方緊急時は、捜索・人命救助・復旧作業等に利用され、日常的な運用と緊急対応のデュアルユースが行われる。

Thank you for your attention.

<http://tachilab.org/>



館 暲・佐藤 誠・廣瀬通孝（監修・執筆）
日本バーチャルリアリティ学会編
バーチャルリアリティ学
コロナ社，ISBN978-4-904490-05-1



Susumu Tachi, Telexistence

World Scientific, ISBN-13 978-981-283-633-5

2nd Edition, ISBN-978-981-4618-06-9

