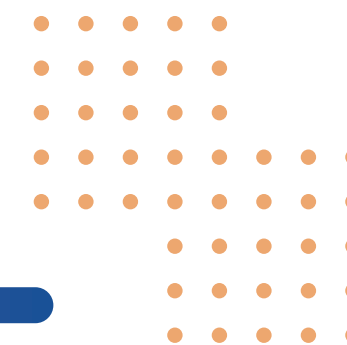
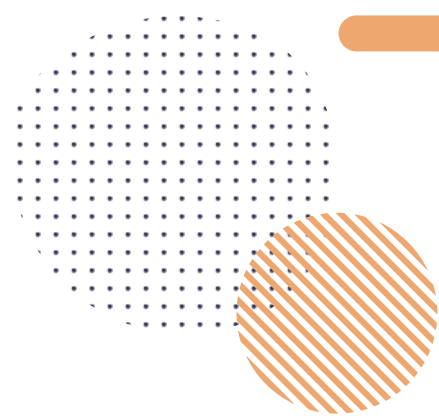


＼ 振り返ってみました ／



20年間で“二度”の転換点 サービス化への共通項



Afrel × **Robotics**
for Industry & Social

サービス化はどのように生まれたのか



Afrel X Robotics
for Industry & Social

- ◆ どのような時代背景の中で
- ◆ どのような**出会い**や**機会**があり
- ◆ 何を、どう**実装**し
- ◆ どのように**新しい価値**を普及させてきたのか

- ◆ どのような時代背景の中で
- ◆ どのような**出会い**や**機会**があり
- ◆ 何を、どう**実装**し
- ◆ どのように**新しい価値**を普及させてきたのか

「2回の転換期」 を具体的な事例で紹介

アフレルの“今”

Education事業



Afrel X Robotics
for Industry & Social

■ 企業向けエンジニア研修

導入実績：**600**社（受講者数**17,965**名）*1

NTTデータ社、マツダ社、三菱電機社、富士通ラーニングメディア社

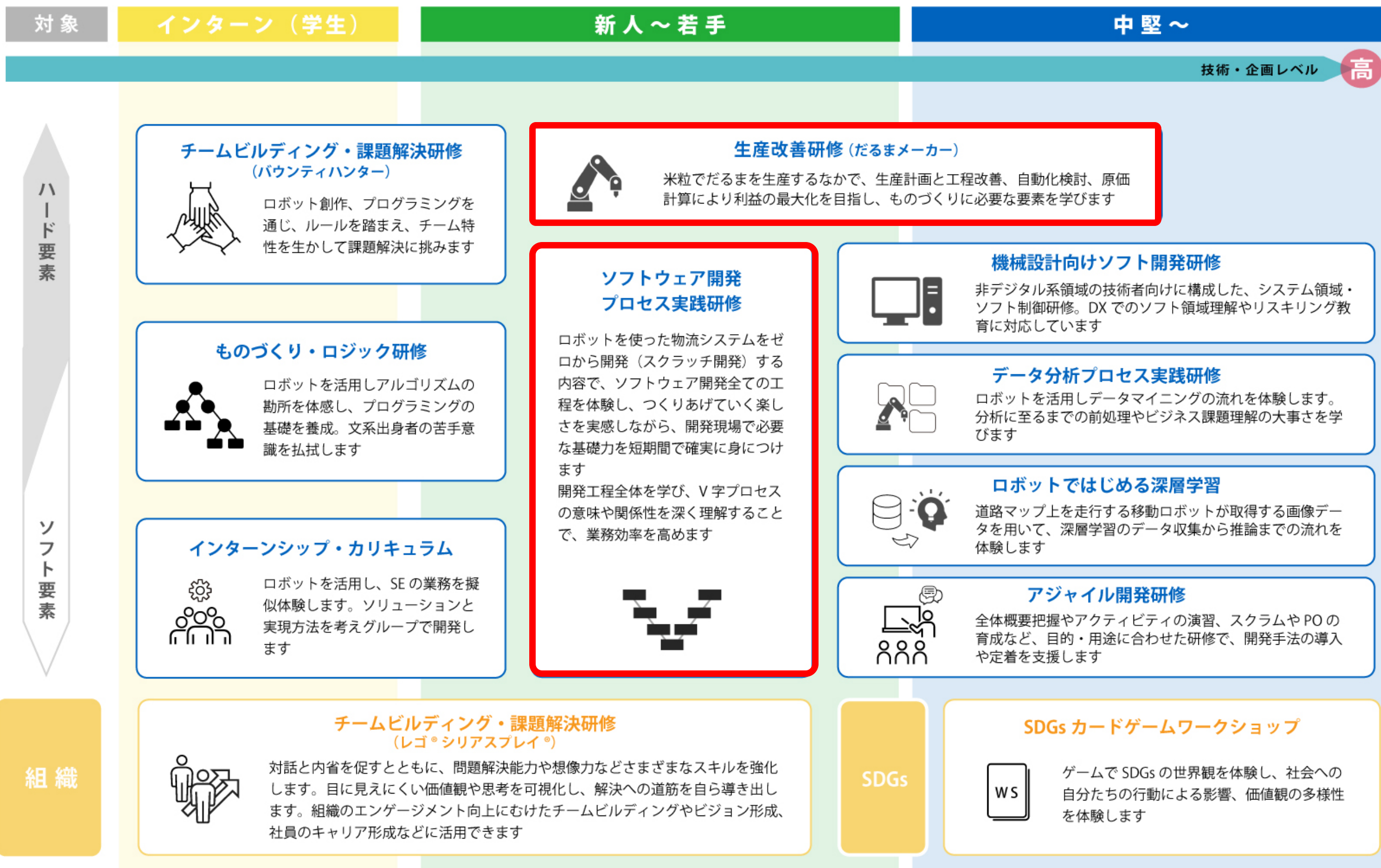
■ 高等教育機関向け教育支援

導入実績：大学（工学部）**90%** 高等専門学校 **100%**他

Keyword：AI,ロボット,DX,アジャイル開発,ウォーターフォール開発,ものづくり

*1 2021年7月当社調べ／新入社員、若手エンジニア向け研修、中堅エンジニア向け研修、内定者、インターンシップ向け研修、研修機材の提供

現場で技術を活用し、成果につなげる人材育成





もくじ

01	はじめに	3
1	はじめに	4
1-1	学習のながれ	4
1-2	この本の読み方	5
2	C言語プログラミングを始める環境	6
2-1	使用するハードウェアとソフトウェア	6
2-2	プログラミングの流れ	7
3	C言語について	8
3-1	C言語について	8
3-2	プログラムとコンピュータ	8
3-3	命令とデータ	9
3-4	コメント	9
02	開発環境のセットアップと使い方	10
03	組み立て手順書	10
04	色々なプログラム	11
1	プログラムを構成するもの	12
1-1	変数	13
1-2	型	13
1-3	代入	14
1-4	定数	14
1-5	様々な演算子	14
2	くり返しと分岐	16
2-1	if文	17
2-2	while文	17
2-3	else-if	19
2-4	break文	19
2-5	論理演算子	19
2-6	switch文	21
3	関数をつくる	22
3-1	関数	23
3-2	引数	23
3-3	戻り値	24
3-4	インクルード	25
4	配列と構造体	27
4-1	配列	28
4-2	for文	29
4-3	構造体	31

C言語では、関数が呼び出されたとき、引数の値がコピーされて関数に渡されます。関数内で、コピーの値が変更されても、元の変数の値には影響がありません。

そこで、ポインタ変数を使って、関数に対して、引数の値ではなく、アドレスを渡します。関数を呼び出すときに、変数のアドレスを渡すことで、関数内でそのアドレスに格納された値を操作することができます。

```
swap_colors(&a, &b); // 関数に a のアドレスと b のアドレスを渡す
```

演習

1) 下図のプログラムを、sample5-1と比較したとき、異なるところはどこでしょうか。また、実行すると、ハブのボタンの色はどのように光るでしょうか。予想して実行してみましょう。

```
void swap_colors(pbio_color_t color1, pbio_color_t color2);

void Main(intptr_t exinf)
{
    // 3秒待ちます
    dly_tsk(3000000);

    pbio_color_t a, b;

    a = PBIO_COLOR_BLUE;
    b = PBIO_COLOR_YELLOW;

    // ボタンを順に光らせる
    hub_light_on_color(a);
    dly_tsk(2000000);
    hub_light_on_color(b);
    dly_tsk(2000000);

    // ボタンのライトを消す
    hub_light_on_color(PBIO_COLOR_BLACK);
    dly_tsk(1000000);

    // 音を鳴らす
    hub_speaker_set_volume(5);
    hub_speaker_play_tone(NOTE_A4, 2000);

    // 色を入れ替える
    swap_colors(a, b);

    // ボタンを順に光らせる
    hub_light_on_color(a);
    dly_tsk(2000000);
    hub_light_on_color(b);
    dly_tsk(2000000);

    // プログラムを終了します
    exit(0);

    // 色を入れ替える
    void swap_colors(pbio_color_t color1, pbio_color_t color2)
    {
        pbio_color_t tmp; // 一時的な保管用
        tmp = color1;
        color1 = color2;
        color2 = tmp;
    }
}
```

イベント・ワークショップ



Afrel × Robotics
for Industry & Social

■ ETロボコン（分析・設計・制御モデリング・実装を競う）

- 全国12地区で予選し、全国大会へ勝ち進む
- 「経済産業大臣賞」を受賞

■ WRO（自律型ロボットによるコンテスト）

- 世界93カ国・地域の子どもたちが参加
- 4種類の競技
 - ① ミッションをクリアし、速さを競う
 - ② 社会的課題に対し、ソリューションをプレゼン
 - ③ スポーツを模して、変化に対応する技術力を競う
 - ④ AIを活用した自動運転競技

■ 地域のITイベント

技術を磨き合う場

学びを発表する場

Robotics事業



Afrel × Robotics
for Industry & Social

■ 中堅製造業向け自動化支援

- 協働ロボットを用いた
パッケージシステム開発・提供
- 内製化に向けた人材育成

機器 設計 開発 設置 の費用“ぜんぶ込み”でこの価格

多品種少量生産の
工程自動化が
300万円から実現！

導入前の【調査・構想】コストも大幅削減！工場の即戦力ロボットパッケージ、誕生。

2032年までに、製造業ロボット密度 **20%** を目指します

「2回の転換期」を 年表で見る

「2回の転換期」を年表で見る



Afrel Robotics
for Industry & Social

1990年代後半	● デンソー関連企業で、車載コンピュータ・電装品回路エンジニアを経験 ● 永和システムマネジメントに転職後、金融システム開発を経験	
2000年	● 【CSR活動】親子ロボットプログラミングワークショップ開催 ● レゴのロボットと出会う	● 出会い
2000年代前半	● 改組：教育支援事業開始 ● UMLロボコン（現：ETロボコン）立ち上げ参画 ● 業界最大手「総合ITベンダー」との出会い&エンジニア研修の実施 ● 技術教育向け教材開発・提供の開始 ● 株式会社アフレル創業	● 実装 ● サービス化 & 普及
現在まで	● WROとの出会い&WRO Japan立ち上げ参画 ● 様々な教育市場へ（高等教育機関→義務教育→民間スクール→家庭学習） ● 協働ロボットアームを新たなツールとして教材開発 ● 製造業のエンジニア人材育成支援増加	● 出会い
これから	● 製造業の自動化支援に向けたパッケージシステムのサービス開発 ● ロボティクス事業立ち上げ	● 実装 ● サービス化

「2回の転換期」を年表で見る



Afrel Robotics
for Industry & Social

1990年代後半	● デンソー関連企業で、車載コンピュータ・電装品回路エンジニアを経験 ● 永和システムマネジメントに転職後、金融システム開発を経験
2000年	● 【CSR活動】親子ロボットプログラミングワークショップ開催 ● レゴのロボットと出会う
2000年代前半	● 改組：教育支援事業開始 ● UMLロボコン（現：ETロボコン）立ち上げ参画 ● 業界最大手「総合ITベンダー」との出会い&エンジニア研修の実施 ● 技術教育向け教材開発・提供の開始 ● 株式会社アフレル創業
現在まで	● WROとの出会い&WRO Japan立ち上げ参画 ● 様々な教育市場へ（高等教育機関→義務教育→民間スクール→家庭学習） ● 協働ロボットアームを新たなツールとして教材開発 ● 製造業のエンジニア人材育成支援増加
これから	● 製造業の自動化支援に向けたパッケージシステムのサービス開発 ● ロボティクス事業立ち上げ

出会い

実装

サービス化
& 普及

出会い

実装

サービス化

01



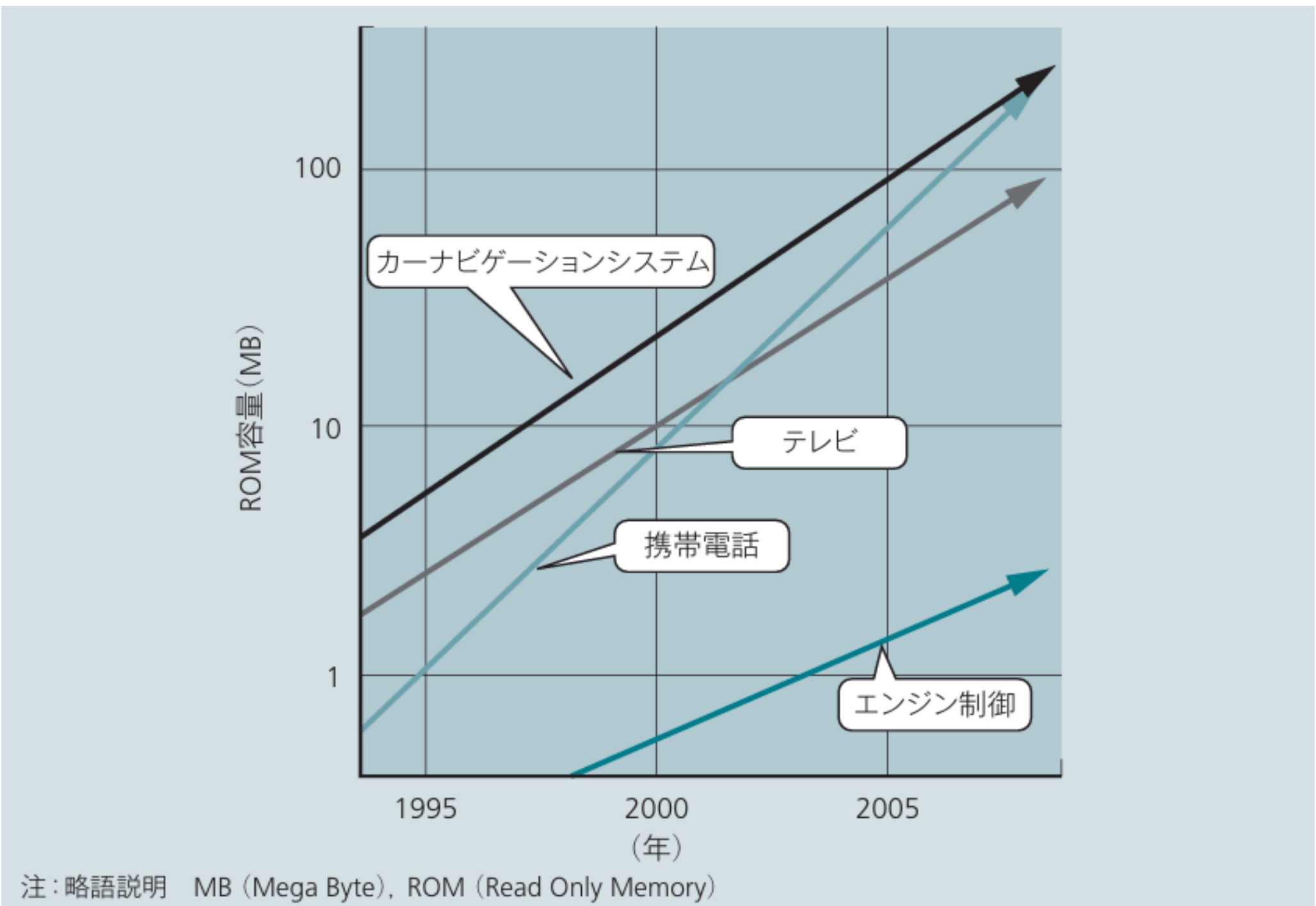
**時代背景：
組込みソフトウェアの巨大化**

2000年代初頭：組込みソフトウェアの巨大化



- 数万行 から 数百万行へ！
- ソースコードを並べただけのシステムでは全体把握が不可能
- 「モデル設計」を国を挙げて推奨し始める

組込み製品におけるソフトウェア規模の推移

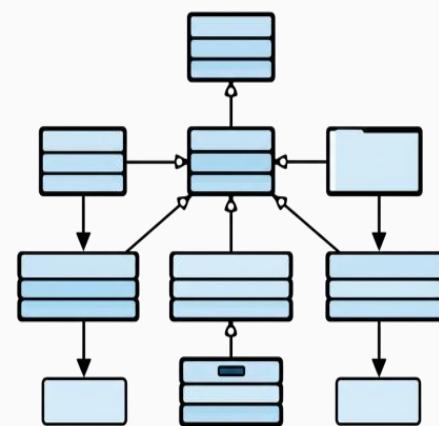


引用：日立製作所「日立グループシナジーを生かした組込みシステム開発力強化の取り組み」

「論理」と「物理」の乖離が大きな課題に

- ▼物理環境で起きること
センサー誤差 / モーター個体差 / 電圧変動 / ノイズ / など

理論・設計



- 理論上は正しい
- 設計上も完璧に成立している

物理・現実



- 実際の物理環境では動かない
センサー誤差、モーター個体差、
電圧変動、ノイズ

「論理」と「物理」の乖離が大きな課題に

最初から変化を織り込む

調整しやすい構造にする

チューニングし易くする

環境変化を前提にした設計

エンジニア教育ニーズの高まり

- ソフトウェアが急速に発展・普及した時代

▶ とにかく開発に集中

エンジニアの体系的な育成手法が確立されていない

- ▶ 作り手の「数」も「質」も必要な状況で
教育ニーズが高まっていた

02



創業者の背景

I 物理世界の制約を経験

デンソー社の関連企業で、車載コンピュータや電装回路開発に携わる

- ▶ ノイズや摩擦など、環境変化がいかにシステムの挙動を狂わせるかを実体験している

I 大規模ソフトウェアの論理設計

永和システムマネジメント社にて、金融系大規模システム開発に携わる

- ▶ 論理に基づくコーディングやアーキテクチャの世界でモノづくりを行う

I 物理世界の制約を経験

デンソー社の関連企業で、車載コンピュータや電装回路開発に携わる

- ▶ ノイズや摩擦など、環境変化がいかにシステムの挙動を狂わせるかを実体験している

I 大規模ソフトウェアの論理設計

永和システムマネジメント社にて、金融系大規模システム開発に携わる

- ▶ 論理に基づくコーディングやアーキテクチャの世界でモノづくりを行う

両極端の経験が、サービス化の基盤に

03



「教育活動」との出会い

「2回の転換期」を年表で見る



Afrel Robotics
for Industry & Social

1990年代後半	● デンソー関連企業で、車載コンピュータ・電装品回路エンジニアを経験 ● 永和システムマネジメントに転職後、金融システム開発を経験	
2000年	● 【CSR活動】親子ロボットプログラミングワークショップ開催 ● レゴのロボットと出会う	● 出会い
2000年代前半	● 改組：教育支援事業開始 ● UMLロボコン（現：ETロボコン）立ち上げ参画 ● 業界最大手「総合ITベンダー」との出会い&エンジニア研修の実施 ● 技術教育向け教材開発・提供の開始 ● 株式会社アフレル創業	● 実装 ● サービス化 & 普及
現在まで	● WROとの出会い&WRO Japan立ち上げ参画 ● 様々な教育市場へ（高等教育機関→義務教育→民間スクール→家庭学習） ● 協働ロボットアームを新たなツールとして教材開発 ● 製造業のエンジニア人材育成支援増加	● 出会い
これから	● 製造業の自動化支援に向けたパッケージシステムのサービス開発 ● ロボティクス事業立ち上げ	● 実装 ● サービス化

エンジニア同士の他愛ない会話

「最近、レゴがロボットを開発したらしいぞ」

CSRとして、地域の子どもたち向け「技術教育イベント」

- ▶ 「ものづくり」と「教育」が出会う

レゴロボットとの出会い

- ▶ エンジニアコミュニティで
「レゴがロボットを発売したらしい」という情報



「2回の転換期」を年表で見る



Afrel Robotics
for Industry & Social

1990年代後半	● デンソー関連企業で、車載コンピュータ・電装品回路エンジニアを経験 ● 永和システムマネジメントに転職後、金融システム開発を経験	
2000年	● 【CSR活動】親子ロボットプログラミングワークショップ開催 ● レゴのロボットと出会う	● 出会い
2000年代前半	● 改組：教育支援事業開始 ● UMLロボコン（現：ETロボコン）立ち上げ参画 ● 業界最大手「総合ITベンダー」との出会い&エンジニア研修の実施 ● 技術教育向け教材開発・提供の開始 ● 株式会社アフレル創業	● 実装 ● サービス化 & 普及
現在まで	● WROとの出会い&WRO Japan立ち上げ参画 ● 様々な教育市場へ（高等教育機関→義務教育→民間スクール→家庭学習） ● 協働ロボットアームを新たなツールとして教材開発 ● 製造業のエンジニア人材育成支援増加	● 出会い
これから	● 製造業の自動化支援に向けたパッケージシステムのサービス開発 ● ロボティクス事業立ち上げ	● 実装 ● サービス化

04



レゴロボットを使ったエンジニア研修 総合ITベンダー最大手での実装

エンジニアコミュニティの繋がりで出会った
ITベンダーに所属するエンジニア

「体系的な教育を、実機でやりたい」

社内で一貫して開発

- ハードウェア
- ソフトウェア
- 組込み
- 実機制御



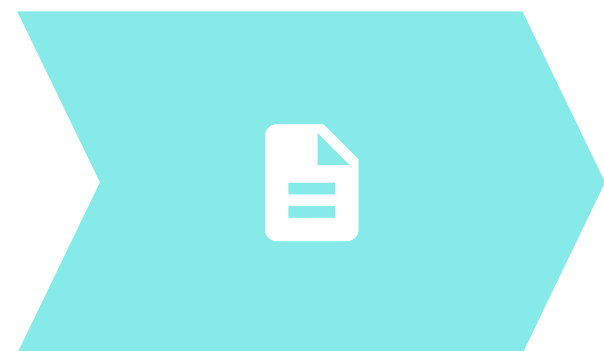
全体を理解 して

設計 できる

エンジニアが必要

開発の一連の流れの中で、「想定通り動かない!？」を体験

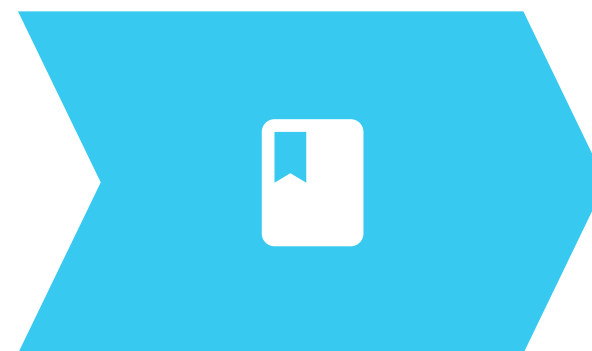
① 価値の設定



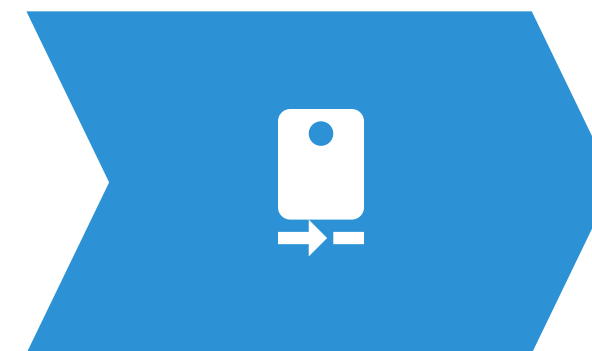
② 要件定義



③ モデル設計



④ プログラム



⑤ ロボットで実行



思った通り動かない!



② 要件定義を見直す

③ 設計を変更

④ プログラムを修正

05



「考具」としての活用

レゴロボットは

- めったなことでは壊れない
- 共通規格で組合せ自由
- パーツの個体差がほぼない
- すぐに、何度も試行錯誤ができるツール
- 初学者用の開発言語から、プロが使う開発言語まで対応している

思考を検証するための道具 = 「考具」として



06



現実世界を攻略する設計力 「ETロボコン」

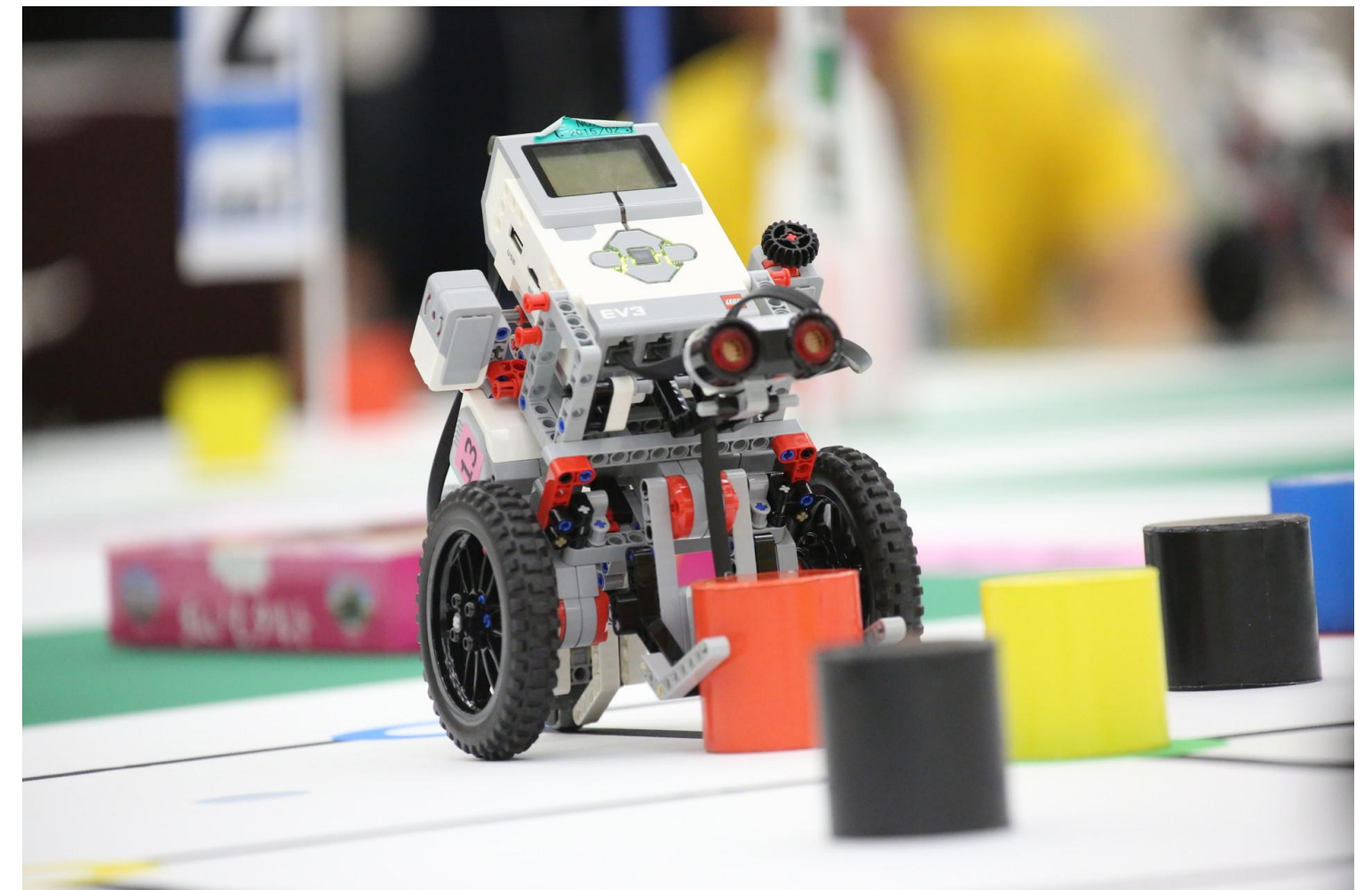
競技

フィジカル部門

現実世界（フィジカル空間）で、レゴ® エデュケーション SPIKE プライムを走行体として組立て、走行タイムと難所攻略で競います。

全チームが同じハードウェア

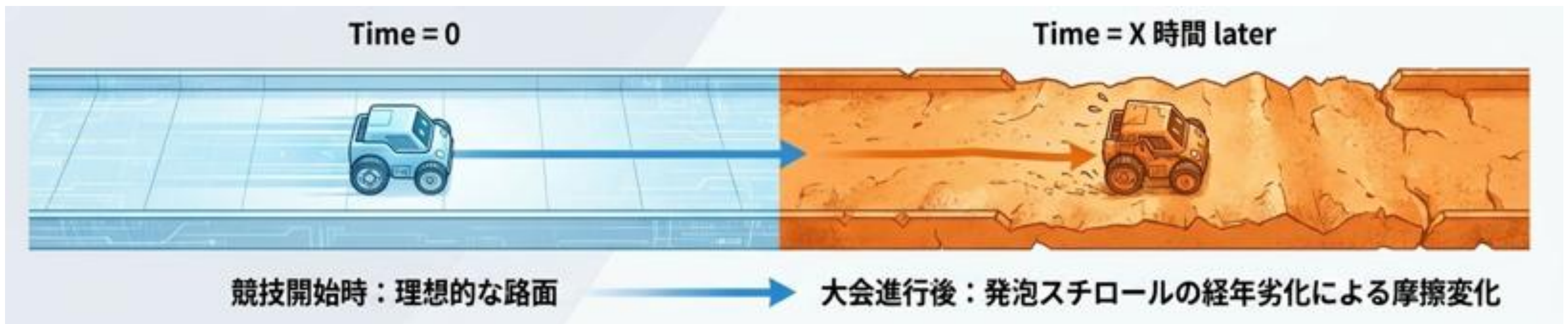
- 設計技術
 - 実装技術
 - チューニング力
- を競う



路面がもし、大会中に劣化したら…？

前身となる「UMLロボコン」では 競技で使用するコースが<発泡スチロール>

- ・大会中でも、ロボットのタイヤが路面を掴む、グリップ力が低下
▶ 制御する環境が変わる



前身となる「UMLロボコン」では 競技で使用するコースが<発泡スチロール>

- ・大会中でも、ロボットのタイヤが路面を掴む、グリップ力が低下
▶ 制御する環境が変わる

環境変化を吸収できる設計

がとても重要だった

現実世界を攻略する力

- 観察する力
- 仮説を立てる力
- 調整する力
- 実装しきる力

▶ 現実世界で通用する
＜設計力＞を磨く場

07



技術教育コミュニティへの貢献

イベント・ワークショップ



Afrel × Robotics
for Industry & Social

■ ETロボコン（分析・設計・制御モデリング・実装を競う）

- 全国12地区で予選し、全国大会へ勝ち進む
- 「経済産業大臣賞」を受賞

■ WRO（自律型ロボットによるコンテスト）

- アジア圏を中心に約93カ国・地域の子どもたちが参加
- 4種類の競技
 - ① ミッションをクリアし、速さを競う
 - ② 社会的課題に対し、ソリューションをプレゼン
 - ③ スポーツを模して、変化に対応する技術力を競う
 - ④ AIを活用した自動運転競技

■ 地域のITイベント

技術を磨き合う場

学びを発表する場

研修のように、教育そのものを提供するだけでなく

教育の土壌そのもの を作ることに貢献してきた

研修や、イベントなどの役務提供サービスではない

別のサービス形態としての

教材開発提供

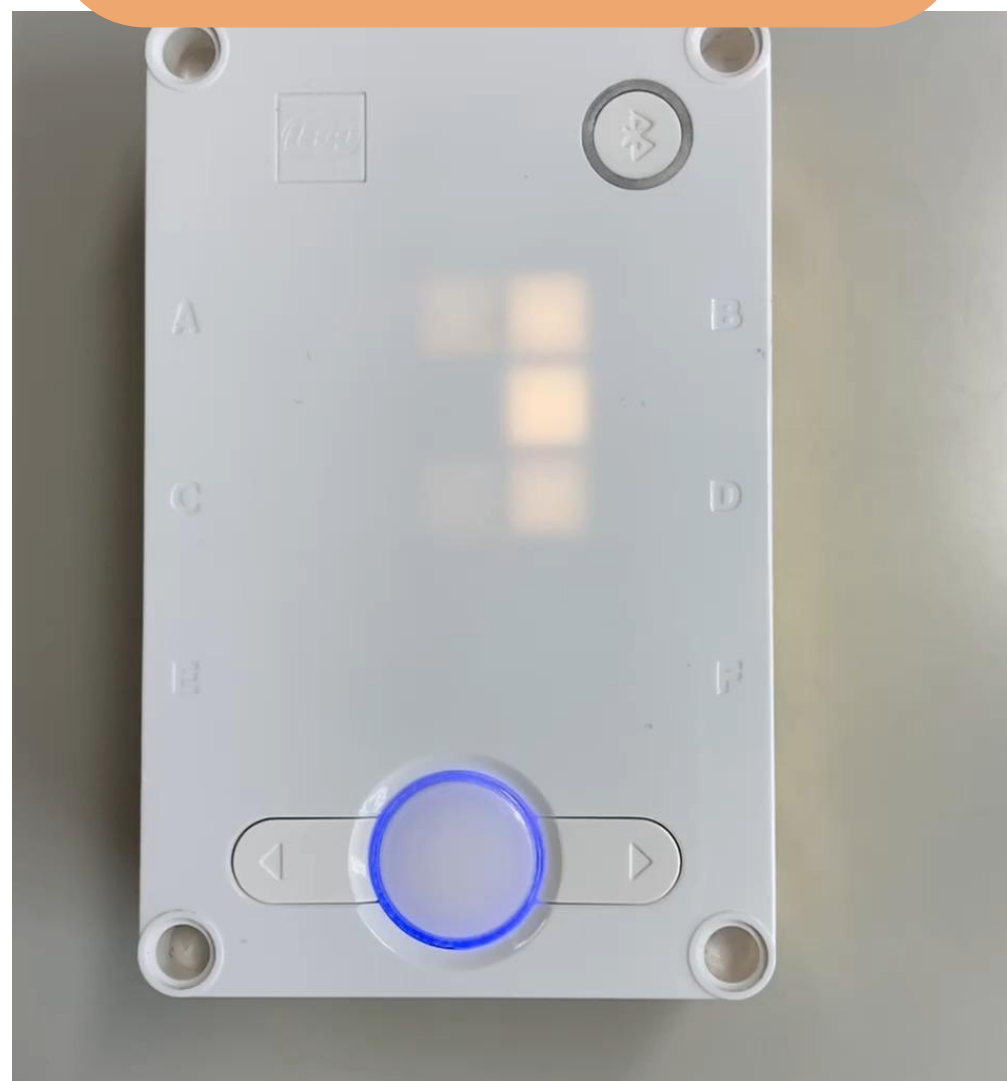
08



**“つまづき”を取り入れた
工学部向け教材開発**

“つまづき”を取り入れた教材開発

ポインタ変数**有り**



ポインタ変数**無し**



※元のPowerPointでは動画が埋め込まれています。PDFでは静止画として表示されます。

想定する動き



“つまづき”を取り入れた教材開発



ポインタ変数**有り**

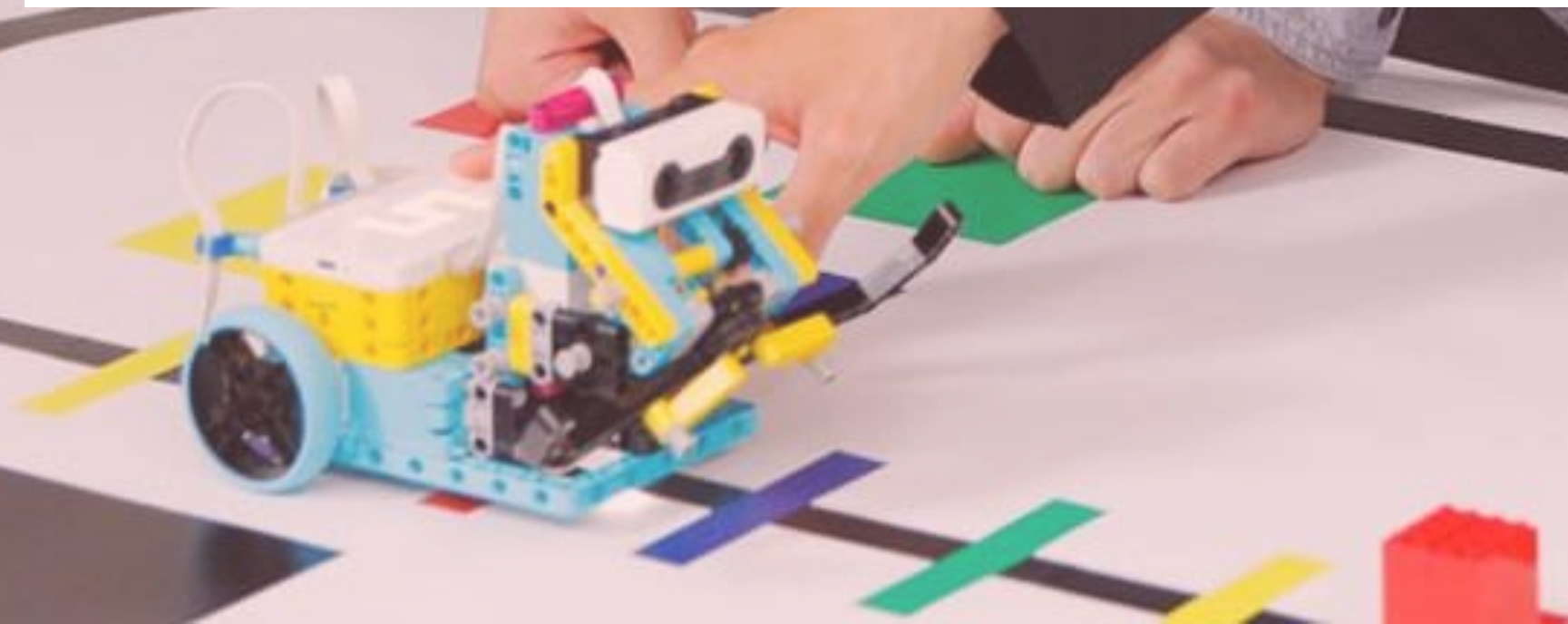
```
32 void swap_colors(pbio_color_t *color1, pbio_color_t *color2);
33
34 void Main(intptr_t exinf)
35 {
36 // 3 秒待ちます
37 dly_tsk(3000000);
38
39 pbio_color_t a, b;
40
41 a = PBIO_COLOR_GREEN;
42 b = PBIO_COLOR_YELLOW;
43
44 // ボタンを順に光らせる
45 hub_light_on_color(a);
46 dly_tsk(2000000);
47 hub_light_on_color(b);
48 dly_tsk(2000000);
49
50 // ボタンのライトを消す
51 hub_light_on_color(PBIO_COLOR_BLACK);
52 dly_tsk(1000000);
53
54 // 音を鳴らす
55 hub_speaker_set_volume(5);
56 hub_speaker_play_tone(NOTE_A4, 2000);
57
58 // 色を入れ替える
59 swap_colors(&a, &b);
60
61 // ボタンを順に光らせる
62 hub_light_on_color(a);
63 dly_tsk(2000000);
64 hub_light_on_color(b);
65 dly_tsk(2000000);
66
67 // プログラムを終了します
68 exit(0);
69 }
70
71 // 色を入れ替える
72 void swap_colors(pbio_color_t *color1, pbio_color_t *color2)
73 {
74 pbio_color_t tmp; // 一時的な保管用
75 tmp = *color1;
76 *color1 = *color2;
77 *color2 = tmp;
78 }
```

※違いが分かりやすいように
色を付けています

ポインタ変数**無し**

```
32 void swap_colors(pbio_color_t color1, pbio_color_t color2);
33
34 void Main(intptr_t exinf)
35 {
36 // 3 秒待ちます
37 dly_tsk(3000000);
38
39 pbio_color_t a, b;
40
41 a = PBIO_COLOR_GREEN;
42 b = PBIO_COLOR_YELLOW;
43
44 // ボタンを順に光らせる
45 hub_light_on_color(a);
46 dly_tsk(2000000);
47 hub_light_on_color(b);
48 dly_tsk(2000000);
49
50 // ボタンのライトを消す
51 hub_light_on_color(PBIO_COLOR_BLACK);
52 dly_tsk(1000000);
53
54 // 音を鳴らす
55 hub_speaker_set_volume(5);
56 hub_speaker_play_tone(NOTE_A4, 2000);
57
58 // 色を入れ替える
59 swap_colors(a, b);
60
61 // ボタンを順に光らせる
62 hub_light_on_color(a);
63 dly_tsk(2000000);
64 hub_light_on_color(b);
65 dly_tsk(2000000);
66
67 // プログラムを終了します
68 exit(0);
69 }
70
71 // 色を入れ替える
72 void swap_colors(pbio_color_t color1, pbio_color_t color2)
73 {
74 pbio_color_t tmp; // 一時的な保管用
75 tmp = color1;
76 color1 = color2;
77 color2 = tmp;
78 }
```

- 抽象概念を物理現象として理解できる
- 実機を通して、実行力のある技術習得を促進する



09



サービス化してきた「価値」とは

技術がブラックボックス化している今だからこそ

原理原則を理解・物理と論理をつなぐ・
変化に耐えうる設計

提供
してきた
価値は

<自分の目>で見て
<物理を論理へフィードバック>し
<実機を動かすきる>力

「教育活動」との出会い



Afrel X Robotics
for Industry & Social

「ハード」と
「ソフト」の
ものづくり経験

×

レゴロボット
という
新しいツール

×

教育活動と
大きな反響

これらが重なるタイミング

「ハード」と
「ソフト」の
ものづくり経験

×

レゴロボット
という
新しいツール

×

教育活動と
大きな反響

これらが重なるタイミング

実際に教育活動として **実装** したことで、

「実機を使った技術教育」という新しい価値観を普及できた

10



次なるサービス化 「新たな出会い・実装・挑戦」

「2回の転換期」を年表で見る



Afrel Robotics
for Industry & Social

1990年代後半	● デンソー関連企業で、車載コンピュータ・電装品回路エンジニアを経験 ● 永和システムマネジメントに転職後、金融システム開発を経験	
2000年	● 【CSR活動】親子ロボットプログラミングワークショップ開催 ● レゴのロボットと出会う	● 出会い
2000年代前半	● 改組：教育支援事業開始 ● UMLロボコン（現：ETロボコン）立ち上げ参画 ● 業界最大手「総合ITベンダー」との出会い&エンジニア研修の実施 ● 技術教育向け教材開発・提供の開始 ● 株式会社アフレル創業	● 実装 ● サービス化 & 普及
現在まで	● WROとの出会い&WRO Japan立ち上げ参画 ● 様々な教育市場へ（高等教育機関→義務教育→民間スクール→家庭学習） ● 協働ロボットアームを新たなツールとして教材開発 ● 製造業のエンジニア人材育成支援増加	● 出会い
これから	● 製造業の自動化支援に向けたパッケージシステムのサービス開発 ● ロボティクス事業立ち上げ	● 実装 ● サービス化

協働ロボットが登場し、急速に普及

「導入コストが高すぎて導入出来ない」

という声は変わらず存在する

ロボットアームのシステムは「一品一葉」が主流

▶未導入企業にとっては依然ハードルが高い

- コストが高い
- 導入に時間がかかる
- 変化へ対応しづらい、他工程に展開しづらい

**ロボットには変革が起きているが
提供サービスには変化が起きていない**

実装：自動化に新しいアイデアを



Afrel Robotics
for Industry & Social

私たちが活動してきた

【ソフトウェア業界】の **パッケージ** という考えを
ロボットシステムに持ち込む！



私たちが活動してきた

【ソフトウェア業界】の **パッケージ** という考えを
ロボットシステムに持ち込む！

標準化したロボットシステムをベースに導入
製造物が変わっても変化しづらい工程をターゲットに

- ✓ 技術者や管理者、作業者向けの講習会
- ✓ 見て分かる動画マニュアル

教育事業で培ってきた思想が
受け継がれている

11



振り返って分かった、アフレルの「癖」

- ✓ 業界の常識に縛られず【よそ者】
- ✓ 新しいことを試し【若者】
- ✓ まず動いてみる人【馬鹿者】

「よそ者・若者・馬鹿者」



Afrel X Robotics
for Industry & Social

業界の常識に縛られず 【よそ者】

新しいことを試し 【若者】

まず動いてみる人 【馬鹿者】



から、
新しい価値が生まれる

- ✓ レゴロボットをエンジニア教育へ【よそ者】
- ✓ ロボコンの立ち上げ参画【若者】
- ✓ ロボット業界へパッケージ化の持ち込み【馬鹿者】

一般的ではない挑戦を **実装** し続けた

- | チャンスは「気付く」「行動する」がないと、掴めない
- | 構えや準備が必要だが、実は計画的だったことは殆どない…

重要だったのは

変化のある場所に身を置くこと

新しい人や世界に触れ続けること