

## 2 デジタルツイン統合基盤／統合アプリ

デジタルツインの連鎖が生み出す  
個人へ寄り添う街区体験

街区の全体最適化による新たな価値の提供をめざす NTT コンピュータ&データサイエンス研究所（以下、CD 研）は、複数のデジタルツイン（以下、DT）の連鎖により街区の全体最適な状態を求めるための統合基盤、また複数サービスにまたがるユーザの行動を把握し個人へ寄り添うサービスを可能にする統合アプリの研究開発を進めている。

## デジタルツインコンピューティングによる街区全体最適化

人・モノ・環境が複雑に影響し合う街区を1つのDTで表現することは難しい。そこでCD研では、街区を構成する産業ドメインごとにDTをモデル化し、次に複数のDT間を媒介する人のDTをモデル化し、最後にデジタルツインコンピューティング（以下、DTC）によりDTを連鎖させ相互影響をモデル化する、というアプローチを取っている。

課題となるのが目的の異なるDT間で生じる競合だ。たとえば飲食店のDT（以下、飲食フードロスDT）は来店者数やメニューごとの販売数の予測値と実績値の差分に応じてフードロスが発生すると捉え、その最小化を目的としている。フードロス抑制のために個人の嗜好と異なる飲食店へ来店させると、個人の満足度の最大化を目的とする人のDT（以下、個人サービスDT）と競合する。このようなトレードオフの関係にある2つの要素がバランスする最適解を求める必要がある。

複数の目的関数がバランスする最適解を求める「多目的最適化問題」



NTT コンピュータ&データサイエンス研究所  
スマートデータサイエンス研究プロジェクト  
（左から）主任研究員 伊藤 淳 氏 研究主任 佐藤 弘之 氏  
研究員 星野 安泉 氏 グループリーダー 神谷 正人 氏

には、目的関数の数に応じて、複数の最適解が曲線または曲面を形成するという特徴がある。この曲線／曲面をパレートフロントと呼ぶ。

CD研の取り組みは、連鎖するDTに関する多目的最適化問題を定式化しパレートフロントを求めること、またDT間のトレードオフのバランスが取れた Social Well-being な状態を求め、環境の自動制御や人への働きかけなど現実世界へのフィードバックによりその状態を実現すること、と言える。以下、そのために研究開発を進めている基盤的機能とアプリケーションについて紹介する。

## 街区全体で複数のDTがバランスする状態を実現するための基盤とアプリケーション

## 基盤的機能：デジタルツイン統合基盤

デジタルツイン統合基盤（以下、DT統合基盤）（図1）はDT同士を接続して全体最適化計算を行い、API経由で計算結果を外部システムへ提供するための各種機能を提供する。街づくりDTCのアーキテクチャ<sup>\*1</sup>におけるDTCレイヤに該当する。

コア機能である全体最適化機能の実現には2つの課題があった。1つは連鎖するDTに関する多目的最適化問題の定式化だ。人・モノ・環境の複雑な相互影響を読み解く必要があり、自動的な定式化の実現は困難と言える。そのため具体的なサービ

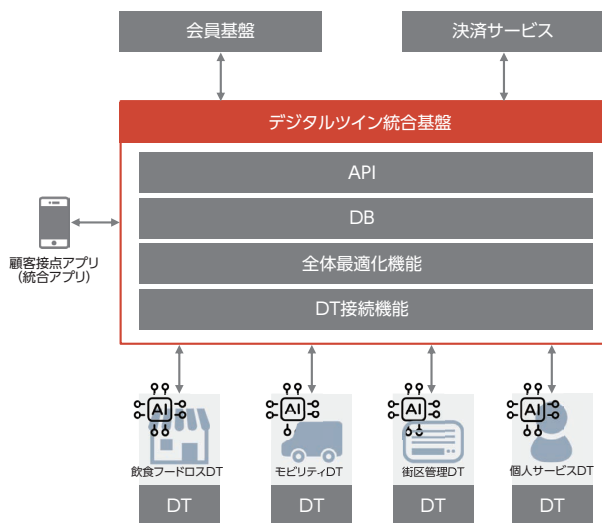


図1 デジタルツイン統合基盤

スを想定し定式化を行っている。その詳細を事例として後述する。

もう1つは現実的な時間内でのパレートフロントの求解だ。そのプロセスを、各DTの予測値をもとに終日の動作計画を立てる「全体調停」と、その動作計画からの差分を補正する「部分変更」の2つに分けることにより、なるべく現実的な時間内で計算処理が完了するようにした。

全体調停は各DTに対応する現実世界のオブジェクト（飲食店や人など）が動作していない夜間や早朝などに実行する。一方で部分変更は「フードロスが閾値以上」などのトリガー条件に応じて随時実行する。

### アプリケーション：統合アプリ

さまざまなサービスの提供に用いる統合アプリにより、街区ユーザーに対して最適なタイミングで最適なコンテンツを最適なコミュニケーション方法で提供し、行動変容を促す。街づくりDTCのアーキテクチャや図1左の顧客接点アプリに該当する。

DT統合基盤で想定したSocial Well-beingな状態を実現するには、人に想定通りの行動をとってもらう必

要がある。これまでは過去のサービス利用ログからユーザーの嗜好を捉え、嗜好にもとづいた推薦により行動を促すことが広く行われて来た。しかしサービス単位の推薦では、複数のサービスが提供される街区での価値体験向上には不十分と言える。

CD研は複数のサービスをまたぐユーザーの価値体験（バリュー）を一連の行動軌跡（ジャーニー）として連結して捉え、サービスを横断したユーザー嗜好の把握やサービス利用の推移をもとにしたユーザー行動の予測により、街区の価値体験を向上可能と考えており、この手法をバリュージャーニー型行動予測と呼んでいる。

ユーザーが統合アプリを使いDT統合基盤に接続された会員基盤で認証を行うことで、DTやDTCが提供する複数のサービスを同一IDによりワンストップで利用可能にする。これにより複数のサービスを横断し、ユーザー行動を1つのIDで捉えることが可能になる。サービスの利用ログは学習データとしてDT統合基盤に蓄積し、行動前後の文脈を踏まえた先読み行動予測に活かすことを想定している。

## DT統合基盤と統合アプリを利用した事例

### 事例1：ランチ推薦

出社やランチ前のタイミングでおすすめのランチを通知する。推薦するランチの時間・メニュー・手段は

個人サービスDT、飲食フードロスDT、モビリティDTの全体最適化により決定する。ユーザーの満足度に対してフードロスやロボット配送の利用率がペナルティとして働くことみなし、3つのDTに関する多目的最適化問題を線形加重和法により単目的最適化問題に変換することで定式化を行った。全員が推薦通りにランチをとれば満足度、フードロス、ロボット配送利用率がバランスする。

推薦による来店者数変化の影響も配慮した。具体的には、街区管理DTが人流の増減予測に合わせて空調をプロアクティブに制御し、快適な温度とエネルギーコストがバランスした全体最適状態を実現できるようにした。さらに、街区オーナーが考える街区のコンセプトに応じて「ユーザー満足度の高さ」、「フードロスの少なさ」などの重みの強弱を変更可能な設計とした。

ユーザー3人に3メニューのいずれかを推薦するイメージを図2に示す。全員ラーメンを好み、寿司とパンの好みは異なる。また寿司のフードロスが発生しそうであり、ロボット配送利用率は余力がある状況とする。図2右側の推薦ランチの通り、満足度重視型の街区に比べ、バランス型の街区では満足度を大きく損なうことなく全体最適を実現している。満足度を減らしフードロスを抑制したい／ロボット配送利用率を高めたい、といった調節や、ロボット配送利用による飲食店への人流減少を受け飲食店フロアの空調を弱める制御も考えられる。

2023年2月から3月までアーバンネット名古屋ネクスタビルにて実証実験が行われ<sup>※2</sup>、4つのDTによ

# 街づくりDTCによる新たな価値提供に取り組む NTTコンピュータ&データサイエンス研究所

る連鎖が期待通りに動作することを確認した。

## 事例2：フリーアドレスの座席推薦

出社などのタイミングで、効率良く業務できるおすすめの座席を通知する。推薦する座席は個人サービスDT、街区管理DTの全体最適化により決定する。全員が推薦通りに着席すれば、快適に業務できる温度（熱的快適性）と一緒に働きたい人との距離がバランスした状態が実現する。

多目的最適化問題の定式化は、複数の目的関数のうち1つだけを目的関数、その他を制約条件として扱い単目的に変換する制約法により行った。制約法には制約条件が厳しすぎると解が求まらないなどの問題がある。しかし本ユースケースでは一緒に働きたい人との距離に対して熱的快適性が制約条件として働くこととみなしており、その条件の範囲では問題が生じないと判断した。

また必ずしも推薦通りに着席や座席移動が行われないことを考慮し、推薦座席への移動率はユーザによって異なるという仮定のもとで、移動率の高いユーザに移動率の低いユー

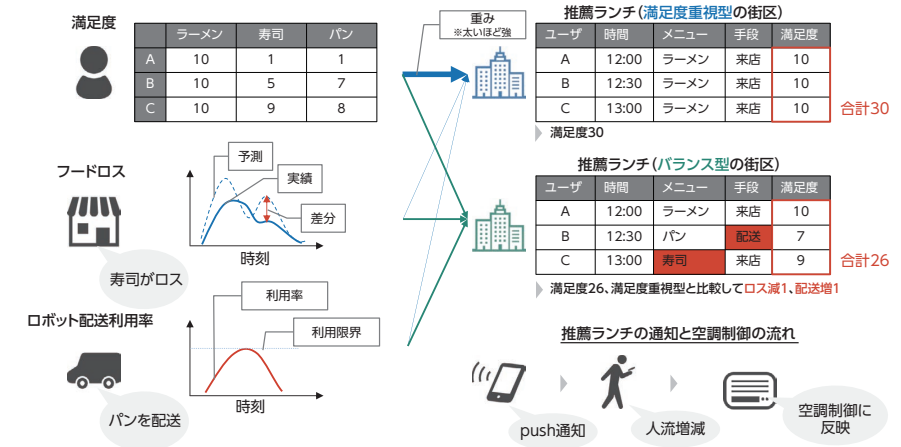


図2 ランチ推薦イメージ

ザの近傍を推薦するよう定式化した。

1グループあたり10人からなる10グループを配席する際のイメージを図3に示す。同一グループ内や矢印で示されるグループ間では一緒に働きたい関係性がある。また空調はあえて温度むらが発生する状況を許容し、エネルギーコストを下げている状態とする。図3右側の推薦座席の通り、暑がり、寒がりのグループは座席の温度にあわせて配席されているほか、一緒に働きたい関係性があるグループ同士は近隣に配席されている。

2023年11月よりNTTグループ

会社の所有オフィスビルにて実証実験が行われている。

## 今後の展開

CD研は、産業ドメインごとのDTの増加に伴いトレードオフの解決が必要なユースケースも増加すると考えている。具体的な街づくりDTCのモデル化を今後も積み重ねるとともに、共通機能の洗い出しと集約により、基盤としての汎用化を進める。また全体最適が実現するよう人に行動してもらうには、情報推薦のみのアプローチでは限界がある。ナッジやインセンティブなど、より行動変容を期待できるアプローチを統合アプリに搭載していく方針だ。

複数のDTが調和することで街区全体がサイバー空間上に形づくられ、個人に寄り添うおもてなし街区体験がフィジカル空間で得られるようなスマートシティの実現を目指し、研究開発を推進し続ける。

※1 “街づくりDTC”によるデータ駆動・連鎖型のスマートシティ”NTT技術ジャーナル, Vol.32, No.11, pp. 77-83, 2020.

※2 “アーバンネット名古屋ネクスタビルにおける「街づくりDTC®」の実証,”ビジネスコミュニケーション, Vol.60, No.2, pp.18-20, 2023.

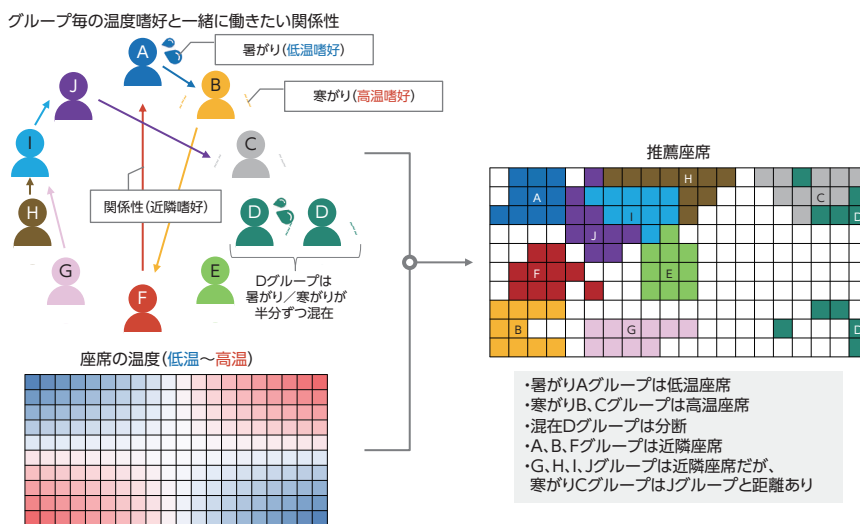


図3 フリーアドレスの座席推薦イメージ