

大規模P2Pネットワーク仮想環境のDHTを用いた安定性と分断耐性の向上

WIP P2P NVE DHT Kademia メタバース MMO

田中 勇氣¹, 高見 利也²

¹大分大学大学院 工学研究科 工学専攻, ²大分大学 理工学部



背景 P2P型ネットワーク仮想環境 (NVE) に関する研究

例) MMOゲーム, メタバース等のリアルタイム通信部分

課題

- ネットワーク分断**
ノード間の接続が失われて、ネットワークが複数の孤立した部分に分かれる
- ノード動的変化への対応**
ノードの参加・離脱(Churn)が頻発するとルーティングや接続維持が難しくなる
- 負荷分散・スケーラビリティ**
ノード数が増えると接続管理やメッセージ拡散が複雑化する

システム詳細

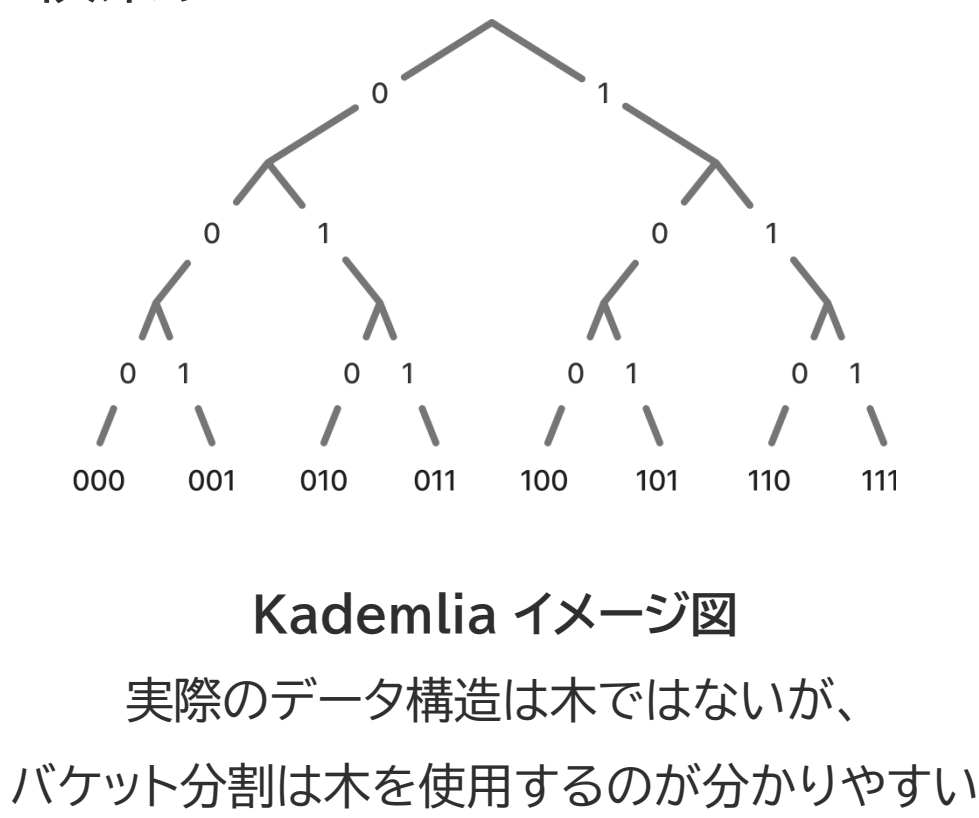
DHT (分散ハッシュテーブル) Kademia

- ❖ データ検索ホップ数 $O(\log n)$
- ❖ ノードIDとデータIDの XOR距離 に基づいてデータを配置・検索する



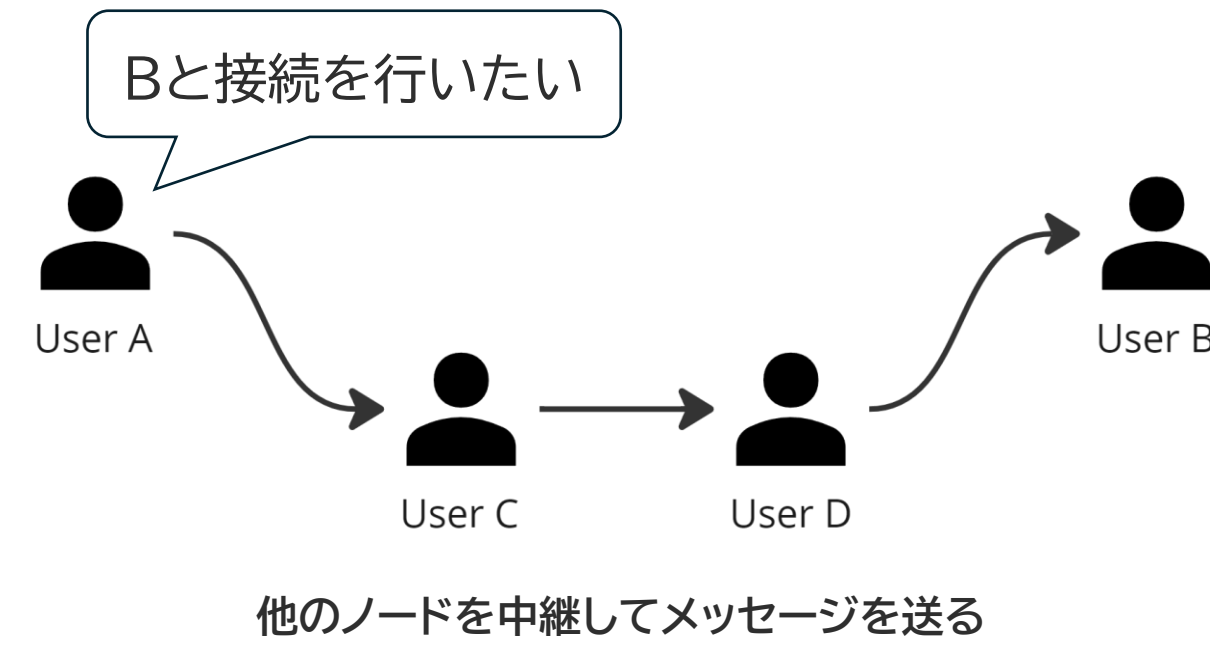
Kademiaを拡張

- 狙い: リアルタイムに空間内の情報を同期すること
- ❖ ノードリスト交換: 2 秒ごとに実施
- ❖ TTL 設定: ノードリストに 10 秒を付与し、自動的に消滅



ノード間 コネクション確立 (接続確立)

- ❖ Node自体でシグナリング※を行う
- ❖ 第三者ノードがシグナリングメッセージを中継することで、NAT環境下でも安定して接続を確立できる



※ シグナリングとは

接続する相手の情報(IP、ポート、接続条件など)を交換するプロセス
P2P 通信での「接続準備」や「相手探し」に相当

評価

① 接続状態の評価

- ❖ 半径256 mに 5 nodes表示されることを想定 理想の接続
- ❖ 空間サイズは2000 m²

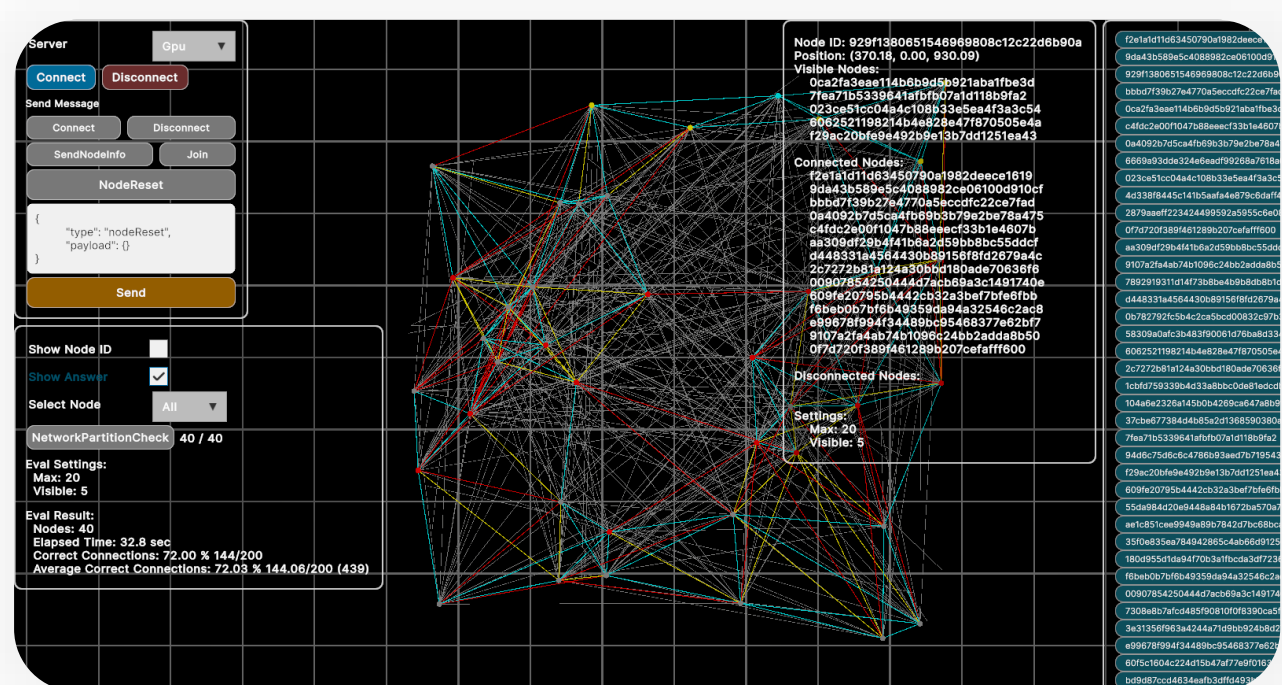
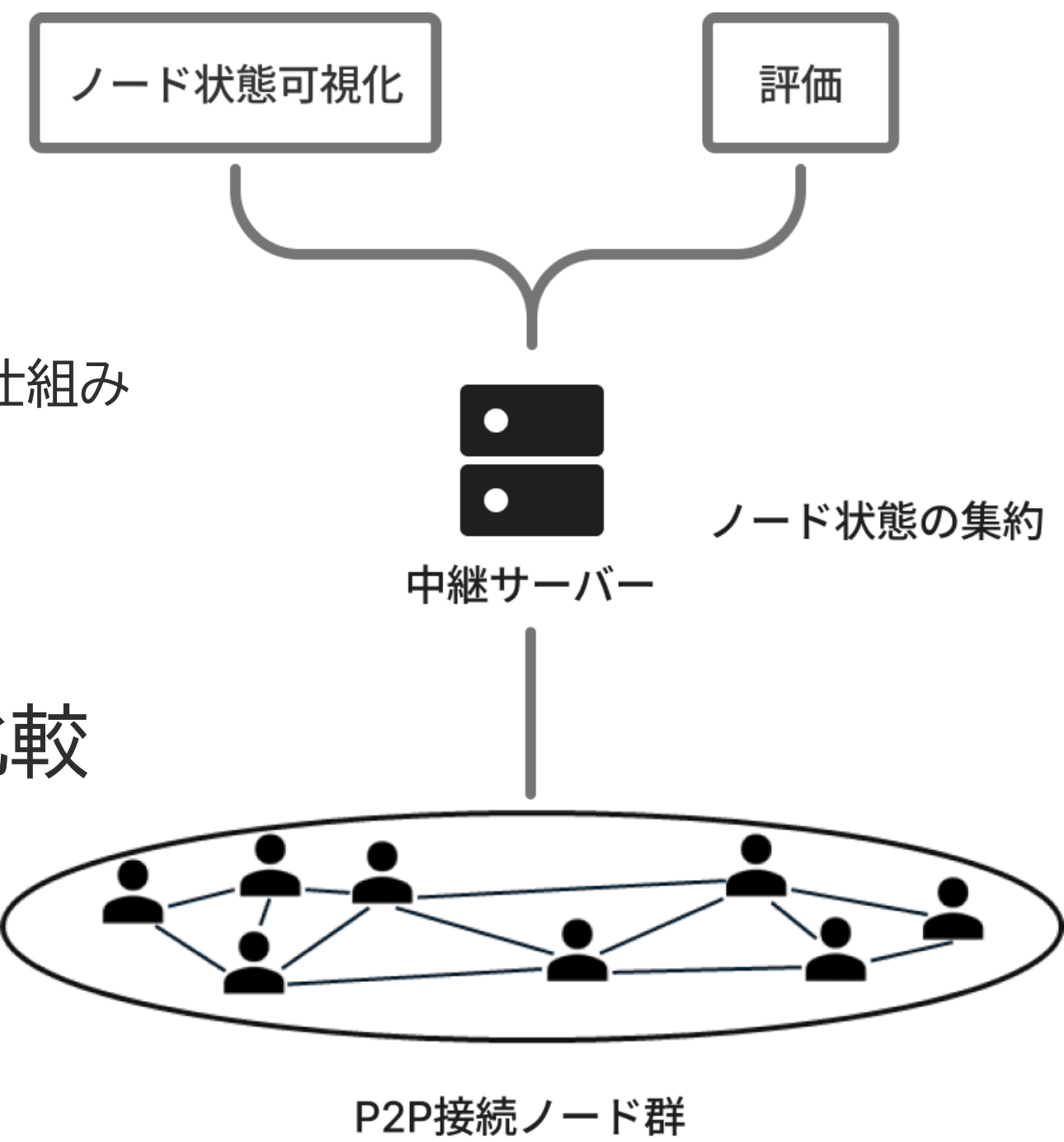


② ネットワーク分断耐性の確認

- ❖ Gossip Protocolを用いて検証
メッセージが“うわさ”のように拡散していく仕組み

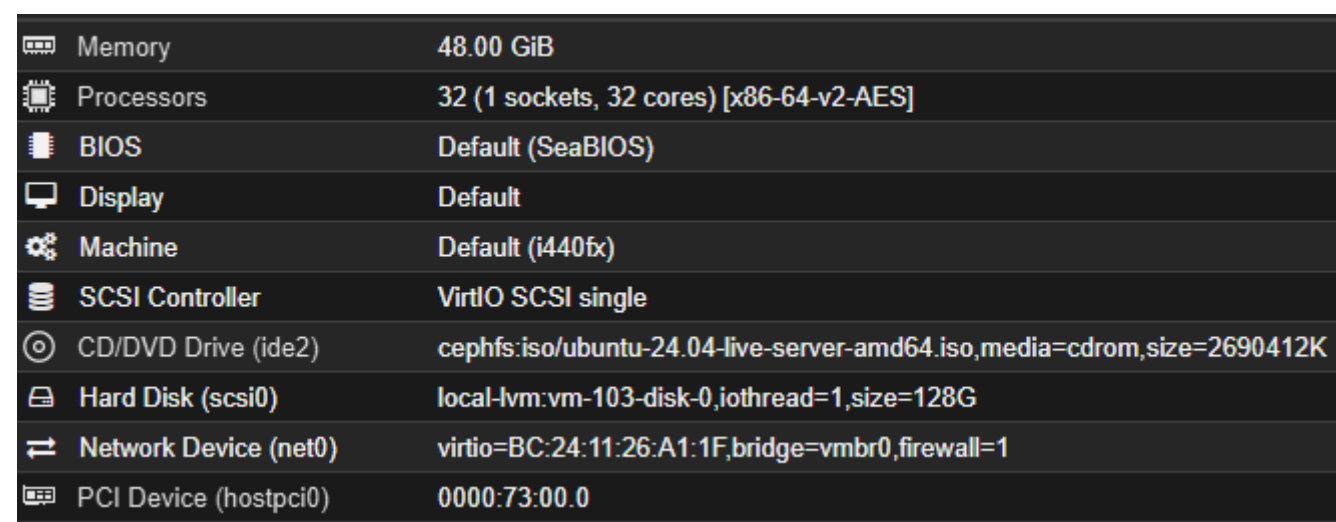
③ スケーラビリティ評価

- ❖ ノード数 50, 100, 150, 200を比較



ノード状態可視化と評価の様子

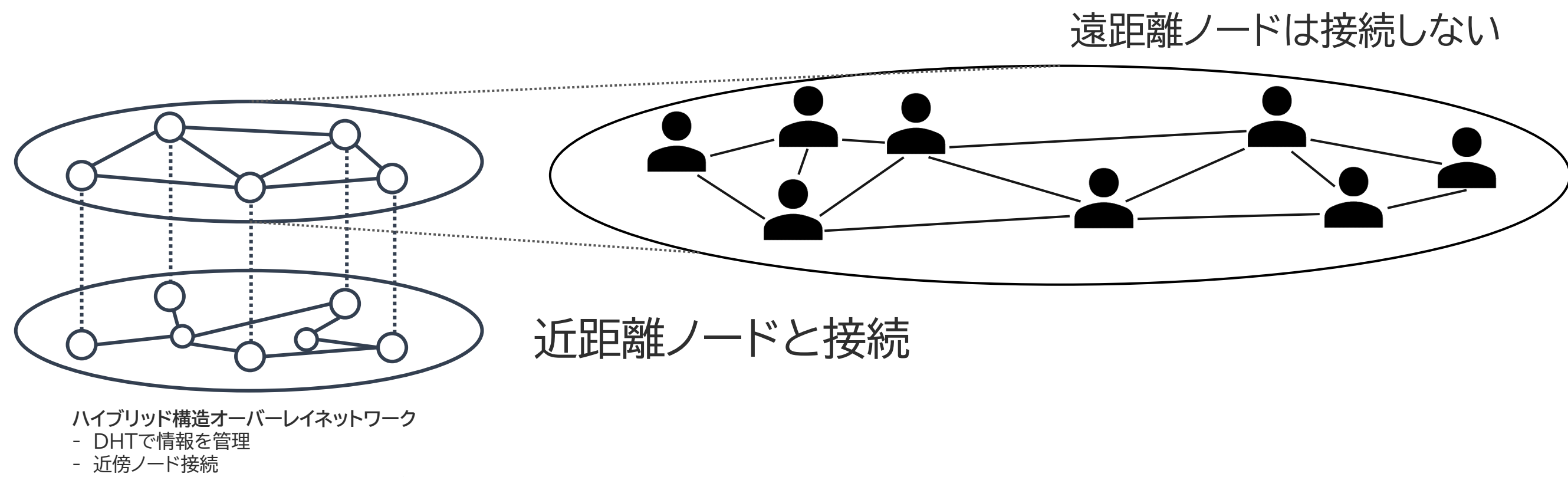
水色: 理想と実際の表示が一致していることを表す



実験で使用する計算機の情報

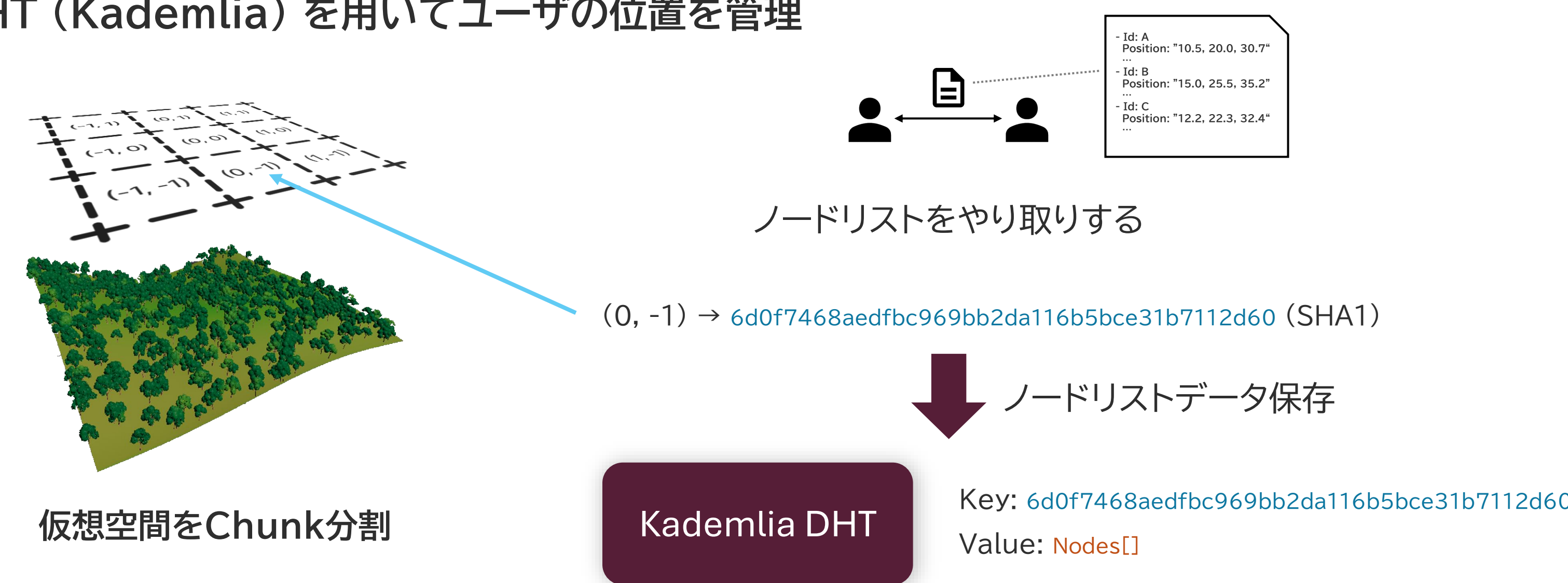
目的 P2P NVE における通信量を削減すること

- ❖ 分散ハッシュテーブル (DHT) を用いてユーザーの位置を管理
→ 効率的な検索
- ❖ 仮想空間で近いノード同士のみ接続 → 通信量を抑える



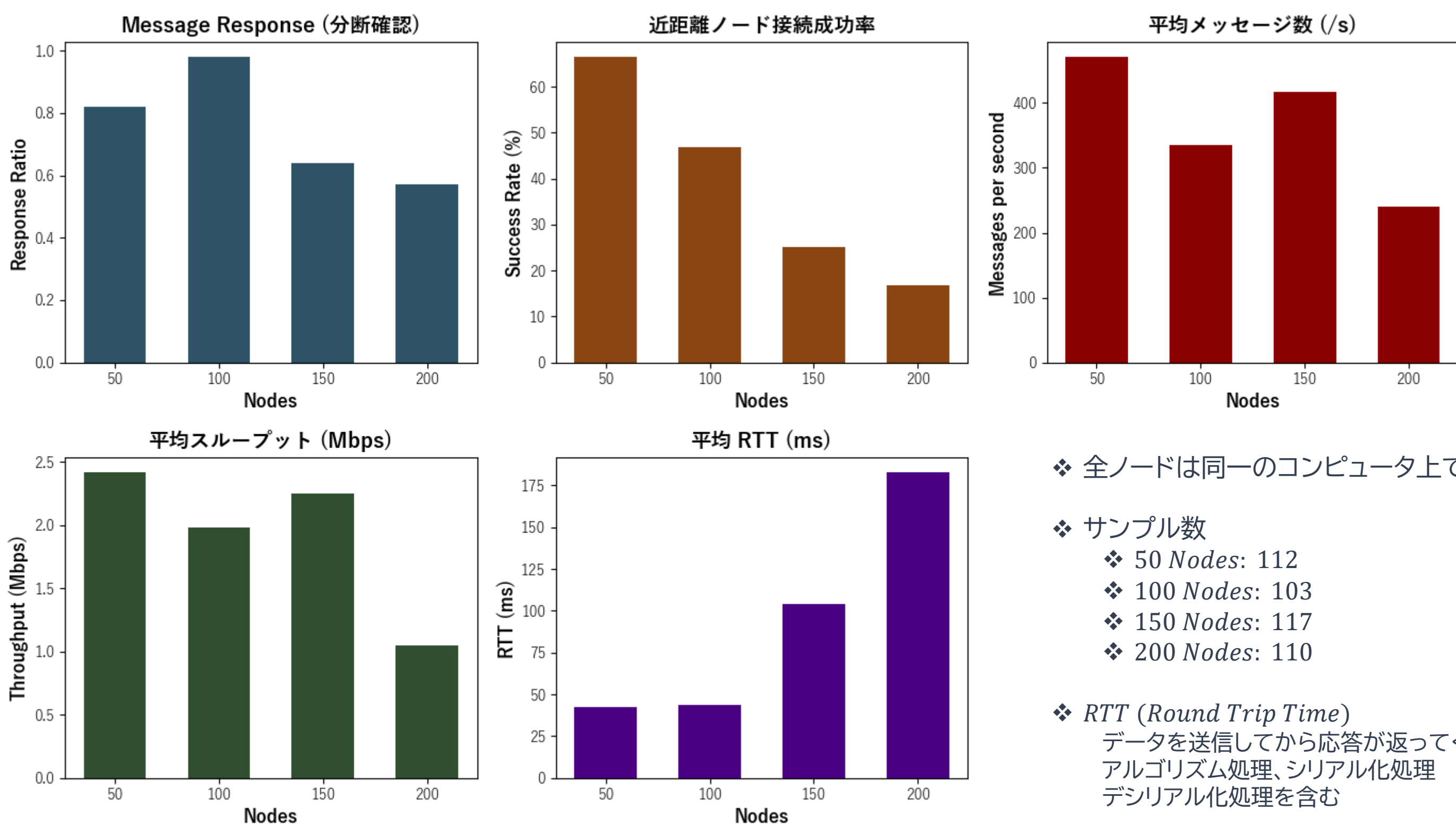
仮想空間内の座標を基にしたP2P接続

DHT (Kademia) を用いてユーザの位置を管理



評価結果

評価項目	50 Nodes	100 Nodes	150 Nodes	200 Nodes
①平均 近距離ノード接続成功率	66.50 %	46.83 %	25.16 %	16.76 %
平均 メッセージ数	471.1 /s	335.0 /s	416.7 /s	241.0 /s
平均 スループット	2.42 Mbps	1.98 Mbps	2.25 Mbps	1.05 Mbps
平均 RTT	42.5 ms	43.9 ms	104.0 ms	182.9 ms
②メッセージ応答数 (ネットワーク分断確認)	41/50	98/100	96/150	114/200



❖ 全ノードは同一のコンピュータ上で測定

❖ サンプル数

- ❖ 50 Nodes: 112
- ❖ 100 Nodes: 103
- ❖ 150 Nodes: 117
- ❖ 200 Nodes: 110

❖ RTT (Round Trip Time)
データを送信してから応答が返ってくるまでの往復時間
アルゴリズム処理、シリアル化処理、デシリアル化処理を含む

❖ 移動速度
0 ~ 6 m/s の一様乱数で設定

❖ 最大接続数
20に設定

考察

50 Nodes

- ❖ 近距離接続成功率良好①
- ❖ 高い接続性(ほぼ分断なし)②
- ❖ スループット・RTT とともに安定

100 Nodes ~

- ❖ 近距離接続成功率が大幅低下①
- ❖ 分断が一部発生②
- ❖ スループット・メッセージ数が増加し、負荷上昇
- ❖ RTT が悪化し遅延が増加

今後の展望

- ❖ アルゴリズムの改良安定
- ❖ ノードが増えた際の安定性の向上が必要

