軌道復元システム - 技術仕様書

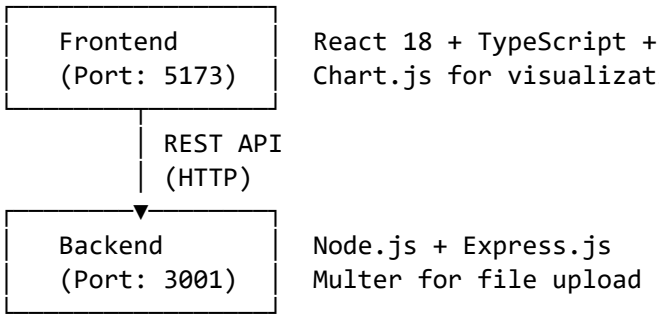
軌道復元システム - 技術仕様書

システム概要

鉄道軌道の測定データをCSV形式で受け取り、可視化・統計分析・波形復元処理を行うWebアプリケーション。VB6で開発された既存システムのモダン化実装。

システム構成

アーキテクチャ



技術スタック

フロントエンド

- **フレームワーク**: React 18.2.0
- **言語**: TypeScript 5.3.3
- **ビルドツール**: Vite 5.0.8
- **グラフライブラリ**: Chart.js 4.4.0 + react-chartjs-2 5.2.0
- **スタイリング**: CSS Modules

バックエンド

- **ランタイム**: Node.js (ES Modules)
- **フレームワーク**: Express.js 4.18.2
- **ファイルアップロード**: Multer 1.4.5-lts.1
- **CORS**: cors 2.8.5

ディレクトリ構造

```
rail-track-app/
├── backend/
│   ├── src/
│   │   └── server.js              # Expressサーバーメインファイル
│   ├── uploads/                    # 一時ファイルストレージ(処理後削除)
│   ├── package.json
│   └── node_modules/
│
├── frontend/
│   ├── src/
│   │   ├── main.tsx               # エントリーポイント
│   │   ├── App.tsx                # メインアプリケーション
│   │   ├── components/
│   │   │   ├── FileUpload.tsx     # ファイルアップロードコンポーネント
│   │   │   ├── ChartDisplay.tsx   # グラフ表示コンポーネント
│   │   │   └── Statistics.tsx     # 統計情報表示コンポーネント
│   │   ├── App.css
│   │   └── index.css
│   ├── index.html
│   ├── package.json
│   ├── tsconfig.json
│   ├── vite.config.ts
│   └── node_modules/
│
└── sample-data.csv                 # サンプルデータファイル
```

バックエンドAPI仕様

エンドポイント一覧

1. ヘルスチェック

サーバーの稼働状態を確認

```
GET /api/health
```

Response:

```
{
  "status": "ok",
  "message": "Rail Track API is running"
}
```

---

2. CSVファイルアップロード

軌道測定データのアップロードと解析

```
POST /api/upload
Content-Type: multipart/form-data
```

Request Body: - `file`: CSVファイル(multipart/form-data)

Response (成功時):

```
{
  "success": true,
  "filename": "sample-data.csv",
  "dataPoints": 41,
  "data": [
    { "distance": 0.0, "irregularity": 2.5 },
    { "distance": 0.5, "irregularity": 2.8 },
    ...
  ],
  "statistics": {
    "min": 2.2,
    "max": 6.7,
    "avg": 4.15,
    "stdDev": 1.42
  }
}
```

Response (エラー時):

```
{
  "error": "ファイルがアップロードされていません"
}
```

実装箇所: server.js:109-140

---

3. 相関係数計算

2つのデータセット間の相関係数を算出

```
POST /api/calculate-correlation
Content-Type: application/json
```

Request Body:

```
{
  "data1": [
    { "distance": 0.0, "irregularity": 2.5 },
    ...
  ],
  "data2": [
    { "distance": 0.0, "irregularity": 2.3 },
    ...
  ]
}
```

Response:

```
{
  "success": true,
  "correlation": 0.85,
  "description": "強い正の相関"
}
```

相関の評価基準: - `> 0.7`: 強い正の相関 - `0.3 ~ 0.7`: 中程度の正の相関 - `-0.3 ~ 0.3`: 弱い相関 - `-0.7 ~ -0.3`: 中程度の負の相関 - `< -0.7`: 強い負の相関

実装箇所: server.js:143-166

---

4. 波形復元処理

移動平均フィルタによるノイズ除去と波形平滑化

```
POST /api/restore-waveform
Content-Type: application/json
```

Request Body:

```
{
  "data": [
    { "distance": 0.0, "irregularity": 2.5 },
    ...
  ],
  "filterType": "simple"
}
```

Parameters: - `filterType`: フィルタータイプ - `"simple"`: 3点移動平均フィルタ(デフォルト)

Response:

```
{
  "success": true,
  "original": {
    "data": [...],
    "statistics": { "min": 2.2, "max": 6.7, "avg": 4.15, "stdDev": 1.42 }
```

```
  },
  "restored": {
    "data": [...],
    "statistics": { "min": 2.3, "max": 6.5, "avg": 4.14, "stdDev": 1.35 }
  },
  "filterType": "simple"
}
```

実装箇所: server.js:169-210

データ処理アルゴリズム

1. CSVパース処理

実装: server.js:41-57

```
function parseCSV(csvText) {
  const lines = csvText.split('\n').filter(line => line.trim());
  const data = [];

  for (const line of lines) {
    const values = line.split(',').map(v => v.trim());
    if (values.length >= 2) {
      const distance = parseFloat(values[0]);
      const irregularity = parseFloat(values[1]);
      if (!isNaN(distance) && !isNaN(irregularity)) {
        data.push({ distance, irregularity });
      }
    }
  }

  return data;
}
```

処理内容: - 改行で分割し、空行を除外 - カンマで列を分割 - 数値変換(parseFloat) - 無効なデータ行をスキップ

---

2. 相関係数計算(ピアソンの積率相関係数)

実装: server.js:60-84

計算式:

```
r = Σ(xi - x̄)(yi - ȳ) / √[Σ(xi - x̄)² × Σ(yi - ȳ)²]
```

または

r = (n×Σ(xi×yi) - Σxi×Σyi) / √[(n×Σxi² - (Σxi)²) × (n×Σyi² - (Σyi)²)]

実装ロジック:

```
function calculateCorrelation(data1, data2) {
  const n = Math.min(data1.length, data2.length);
  if (n === 0) return 0;

  let sumX = 0, sumY = 0, sumXX = 0, sumYY = 0, sumXY = 0;

  for (let i = 0; i < n; i++) {
    const x = data1[i].irregularity;
    const y = data2[i].irregularity;
    sumX += x;
    sumY += y;
    sumXX += x * x;
    sumYY += y * y;
    sumXY += x * y;
  }

  const avgX = sumX / n;
  const avgY = sumY / n;

  const numerator = sumXY - n * avgX * avgY;
  const denominator = Math.sqrt((sumXX - n * avgX * avgX) * (sumYY - n * avgY
        * avgY));

  if (denominator === 0) return 0;
  return numerator / denominator;
}
```

---

3. 統計計算

実装: server.js:87-101

計算項目: - **最小値 (min)**: `Math.min(...values)` - **最大値 (max)**: `Math.max(...values)` - **平均値 (avg)**: `Σxi / n` - **標準偏差 (stdDev)**: `√(Σ(xi - x̄)² / n)` (母集団標準偏差)

```
function calculateStatistics(data) {
  if (data.length === 0) {
    return { min: 0, max: 0, avg: 0, stdDev: 0 };
  }

  const values = data.map(d => d.irregularity);
  const min = Math.min(...values);
  const max = Math.max(...values);
  const avg = values.reduce((a, b) => a + b, 0) / values.length;

  const variance = values.reduce((sum, val) =>
```

```
    sum + Math.pow(val - avg, 2), 0) / values.length;
  const stdDev = Math.sqrt(variance);

  return { min, max, avg, stdDev };
}
```

---

4. 波形復元フィルタ

実装: server.js:169-210

Simple Moving Average Filter (3点移動平均)

計算式:

```
y'[i] = (y[i-1] + y[i] + y[i+1]) / 3
```

ただし、端点(i=0, i=n-1)は元の値を維持

実装コード:

```
if (filterType === 'simple') {
  restoredData = data.map((point, i) => {
    if (i === 0 || i === data.length - 1) {
      return point;  // 端点はそのまま
    }
    const avgIrregularity = (
      data[i-1].irregularity +
      point.irregularity +
      data[i+1].irregularity
    ) / 3;
    return { ...point, irregularity: avgIrregularity };
  });
}
```

効果: - 高周波ノイズの除去 - 波形の平滑化 - 測定誤差の影響を軽減

拡張性: - `filterType`パラメータで異なるフィルタを追加可能 - 例: `"gaussian"`, `"median"`, `"savitzky-golay"` など

フロントエンド仕様

データ型定義

TypeScript Interfaces: App.tsx:7-21

```typescript
export interface TrackData {
  distance: number          // 距離（m）
  irregularity: number      // 軌道狂い量（mm）
}

export interface DataSet {
  data: TrackData[]         // データ配列
  statistics: {
    min: number             // 最小値
    max: number             // 最大値
    avg: number             // 平均値
    stdDev: number          // 標準偏差
  }
  filename?: string         // ファイル名(オプショナル)
}
```

状態管理

React State: App.tsx:24-26

```typescript
const [originalData, setOriginalData] = useState<DataSet | null>(null)
const [restoredData, setRestoredData] = useState<DataSet | null>(null)
const [loading, setLoading] = useState(false)
```

状態遷移: 1. 初期状態: `originalData = null`, `restoredData = null` 2. アップロード後: `originalData = {...}`, `restoredData = null` 3. 復元処理後: `originalData = {...}`, `restoredData = {...}` 4. 再アップロード: `restoredData`をクリア

主要コンポーネント

1. FileUpload

ファイルアップロードUI

Props: - `onFileUpload: (file: File) => void` - ファイル選択時のコールバック - `loading: boolean` - ローディング状態

2. ChartDisplay

Chart.jsによるグラフ表示

Props: - `originalData: TrackData[]` - 元データ - `restoredData?: TrackData[]` - 復元データ(オプショナル)

グラフ設定: - タイプ: Line Chart - X軸: 距離 (m) - Y軸: 軌道狂い量 (mm) - 色: 元データ(青), 復元データ(赤)

3. Statistics

統計情報表示カード

Props: - `title: string` - カードタイトル - `statistics: { min, max, avg, stdDev }` - 統計値

API通信処理

ファイルアップロード

実装: App.tsx:28-57

```
const handleFileUpload = async (file: File) => {
  setLoading(true)
  const formData = new FormData()
  formData.append('file', file)

  try {
    const response = await fetch('/api/upload', {
      method: 'POST',
      body: formData,
    })

    const result = await response.json()

    if (result.success) {
      setOriginalData({
        data: result.data,
        statistics: result.statistics,
        filename: result.filename
      })
      setRestoredData(null)
    } else {
      alert('エラー: ' + (result.error || '不明なエラー'))
    }
  } catch (error) {
    console.error('Upload error:', error)
    alert('アップロードエラーが発生しました')
  } finally {
    setLoading(false)
  }
}
```

波形復元処理

実装: App.tsx:59-92

```
const handleRestoreWaveform = async () => {
  if (!originalData) return

  setLoading(true)
  try {
    const response = await fetch('/api/restore-waveform', {
      method: 'POST',
      headers: {
        'Content-Type': 'application/json',
      },
      body: JSON.stringify({
        data: originalData.data,
        filterType: 'simple'
      }),
    })

    const result = await response.json()

    if (result.success) {
      setRestoredData({
        data: result.restored.data,
        statistics: result.restored.statistics,
        filename: originalData.filename + ' (復元)'
      })
    } else {
      alert('エラー: ' + (result.error || '不明なエラー'))
    }
  } catch (error) {
    console.error('Restore error:', error)
    alert('波形復元エラーが発生しました')
  } finally {
    setLoading(false)
  }
}
```

セキュリティ考慮事項

ファイルアップロード

- **MIMEタイプ検証**: `text/csv`のみ許可
- **拡張子検証**: `.csv`のみ許可
- **ファイルサイズ制限**: Multerのデフォルト設定に依存
- **一時ファイル削除**: 処理完了後即座に削除

実装: server.js:29-38

```
const upload = multer({
  storage: storage,
  fileFilter: (req, file, cb) => {
    if (file.mimetype === 'text/csv' || file.originalname.endsWith('.csv')) {
      cb(null, true);
    } else {
      cb(new Error('CSVファイルのみアップロード可能です'));
    }
  }
});
```

CORS設定

- すべてのオリジンを許可(開発環境)
- 本番環境では特定オリジンのみ許可するよう変更推奨

```
app.use(cors());  // 開発環境
// 本番環境推奨設定:
// app.use(cors({ origin: 'https://your-domain.com' }));
```

パフォーマンス考慮事項

データ量の制限

- **現状**: データ点数に制限なし
- **推奨**: 大規模データ(10,000点以上)の場合:
  - サーバーサイドでページネーション実装
  - フロントエンドでデータ間引き表示
  - Web Workerで非同期処理

処理の同期性

- **現状**: すべて同期処理
- **改善案**:
  - 重い計算処理を非同期化
  - ストリーム処理でメモリ効率向上

拡張性

フィルタアルゴリズムの追加

現在のフィルタ: - `simple`: 3点移動平均

追加可能なフィルタ例:

```
// Gaussian filter
if (filterType === 'gaussian') {
  const kernel = [0.27, 0.46, 0.27];  // ガウシアンカーネル
  // 実装...
}

// Median filter
if (filterType === 'median') {
  restoredData = data.map((point, i) => {
    const window = data.slice(Math.max(0, i-1), i+2);
    const sorted = window.map(p => p.irregularity).sort((a, b) => a - b);
    const median = sorted[Math.floor(sorted.length / 2)];
    return { ...point, irregularity: median };
  });
}
```

新規エンドポイントの追加

例: データエクスポート機能

```
app.get('/api/export/:format', (req, res) => {
  const { format } = req.params;
  // CSV, JSON, Excel等への変換処理
});
```

開発・デバッグ情報

ログ出力

サーバー起動時:

```
Rail Track API server is running on http://localhost:3001
Health check: http://localhost:3001/api/health
```

エラーログ: - `console.error`でスタックトレースを出力 - クライアントには簡潔なエラーメッセージを返す

デバッグ用エンドポイント

```
# ヘルスチェック
curl http://localhost:3001/api/health

# アップロードテスト
curl -X POST -F "file=@sample-data.csv" http://localhost:3001/api/upload
```

依存パッケージ詳細

バックエンド (backend/package.json)

```
{
  "dependencies": {
    "express": "^4.18.2",        // Webフレームワーク
    "cors": "^2.8.5",            // CORS対応
    "multer": "^1.4.5-lts.1"     // ファイルアップロード
  }
}
```

フロントエンド (frontend/package.json)

```
{
  "dependencies": {
    "react": "^18.2.0",              // UIライブラリ
    "react-dom": "^18.2.0",          // React DOM操作
    "chart.js": "^4.4.0",            // グラフ描画
    "react-chartjs-2": "^5.2.0"      // Chart.js Reactラッパー
  },
  "devDependencies": {
    "@types/react": "^18.2.43",      // React型定義
    "@types/react-dom": "^18.2.17",  // React DOM型定義
    "@vitejs/plugin-react": "^4.2.1", // Vite Reactプラグイン
    "typescript": "^5.3.3",          // TypeScriptコンパイラ
    "vite": "^5.0.8"                 // ビルドツール
  }
}
```

既知の制限事項

1. **ファイルサイズ**: 大容量CSVファイル(>50MB)は処理が遅延する可能性
2. **ブラウザ互換性**: モダンブラウザ(Chrome, Firefox, Edge, Safari最新版)を推奨
3. **同時接続数**: Express.jsのデフォルト設定に依存

4. **データ永続化**: データベース未実装(すべてメモリ上で処理)
5. **認証・認可**: 未実装(必要に応じて追加)

将来の拡張計画

- [ ] 複数ファイルの一括処理
- [ ] データベース統合(履歴管理)
- [ ] 高度なフィルタアルゴリズム追加
- [ ] PDFレポート出力機能
- [ ] ユーザー認証機能
- [ ] リアルタイムデータストリーミング対応