



Side Stream Filtration for Cooling Towers

Prepared for the U.S. Department of Energy
Federal Energy Management Program

By Pacific Northwest National Laboratory
X. Duan, J.L. Williamson, K.L McMordie
Stoughton and B.K. Boyd

October 2012

1.1 Background

Cooling towers are an integral component of many cooling systems that provide comfort or process cooling. They are commonly used in industrial applications and in large commercial buildings to release waste heat extracted from a process or building system through evaporation of water. They receive the heated water, and evaporate a portion of the water to cool the remaining water so that it can re-used to again extract heat from the cooling system.

Cooling tower systems operation is most efficient when their heat transfer surfaces are clean. However, these are dynamic systems, due to variations in the water source and their operating in the open environment. Surface water sources such as lakes, rivers, and streams have seasonal variations in water quality and can carry high levels of suspended silt and debris. Groundwater sources don't have the seasonal variations, but can have high levels of dissolved minerals depending on the geology of the region.

Since cooling towers operate outside they are susceptible to dirt and debris carried by the wind. Birds and insects like to live in and around cooling towers due to the warm, wet environment. The combination of process and environmental factors can contribute to four primary treatment concerns encountered in most open-recirculating cooling systems: corrosion, scaling, fouling, and microbiological activity. As shown in Figure 1.1, these treatment concerns are inter-related such that reducing one can have an impact on the severity of the other three.

- **Corrosion:** Corrosion is an electrochemical or chemical process that may lead to the premature failure of system metallurgy. The process of corrosion can be intensified by elevated levels of dissolved mineral content in the water and the presence of oxygen, both of which are typical of most cooling tower systems.

【簡易翻訳】

1.1 背景

冷却塔は「快適さ」を提供する為に不可欠な設備です。一般的に「工業用途」や「大規模な商業ビル施設」で出される排熱を水の蒸発によって「放熱」させる為に使用します。熱せられた水が注がれ、その一部を蒸発させ温度を落とし再び冷却水として循環再利用します。熱交換器内表面が「清潔」である時、冷却効率が最も上がります。しかし「水源の違い」「設置環境」等の条件が全て異なります。

水源としては「川」「湖」・季節によって水質が変わり、時に「泥」「異物」等も混ざります。地下水は季節変動はありませんが、そのエリアの地質によって濃度の高いミネラル分が混入されます。冷却塔は屋外で動くので、土、砂、異物も風によって混入したり、内部・周辺は温かく湿った環境なので「鳥」や「虫」も好んで住み着きます。

ほとんどの開放型冷却塔で問題となる要因は4つ。「金属腐食」「スケール障害」「汚濁」「微生物の活動」です。図1.1に示すように、これらの問題は全て相互関係にあり、1つの問題を減少させる事は、その他の3つの「深刻度」の低減にもつながります。

●金属腐食

「電気化学」または「化学反応の過程」が設備を腐食させ早期故障を招くとされる。腐食プロセスは水中の「電気伝導度の上昇」と「溶存酸素」。この2つの要素で促進され冷却塔では典型的な障害と言えます。

- Scaling:** Scaling is the precipitation of dissolved mineral components that have become saturated in solution, which can lower efficiency of the system. Factors that contribute to scaling tendencies include water quality, pH, and temperature. Scale formation inhibits heat exchangers because of the insulating properties of scale. Scale buildup will make the entire system work harder to meet the cooling demand.
- Fouling:** Fouling occurs when suspended particles or biologic growth forms an insulating film on heat transfer surfaces. Common foulants include organic matter, process oils, and silt, which can also lower system performance. Factors that cause fouling include corrosion and process leaks. Much like scale, fouling deposits create an insulating barrier on the heat exchanger surfaces that can significantly affect the energy performance of the cooling system.
- Microbiological Activity:** Microbiological activity refers to microorganisms that live and grow in the cooling system that can contribute to fouling and corrosion. Cooling towers are a perfect environment for biological activity due to the warm, moist environment. There are two distinct categories of biological activity in a tower system: planktonic and sessile biogrowth. Planktonic is a bioactivity that is suspended or floating in solution. Sessile biogrowth is a bioactivity that sticks to surfaces, such as biofilms or biofouling. Biofilms are problematic for several reasons. They have strong insulating properties that increase energy requirements, they contribute to fouling and corrosion, and they create byproducts that further increase microbiological activity. Sessile biogrowth can generally be found in and around the tower structure, in chiller bundles, on heat exchange surfaces, and in the system piping. Biofilms and algae mats can also be difficult to eradicate.

【簡易翻訳】

●スケール障害

スケールは水中のミネラル成分の飽和・析出でシステム効率を低下させます。スケール傾向の要因としては「水質」・「PH」そして「温度（気温）」も重要です。スケールの析出は「熱交換器」の冷却を阻害し、堆積すると要求する冷却能力に追いつかなくなり、システム全体が過剰運転し始めます。

●汚濁障害（水の汚れ）

汚濁障害は「水の不純物」「微生物の増殖」によって同様に冷却効率を阻害します。一般的な汚染物質としては「有機物」「プロセス油」そして「泥」であり、同様にシステムの能力低下を招くとともに「腐食」や「漏れ（ピンホール）」も引き起こす要因です。スケールもそうですが、汚れの付着は熱交換器表面上にバリアーを張り、冷却塔のエネルギー消費に大きく影響します。

●微生物障害

「微生物障害」とは冷却塔内部で微生物が増殖し「腐食」「汚濁」を引き起こす事を意味します。冷却塔は温かくて湿度が高い為、微生物が増殖するには最適な環境と言えます。

冷却塔内の微生物の活動パターンには「浮遊」と「固着」の異なる2つの種類があります。「浮遊増殖」は冷却水中で浮遊・増殖し「固着増殖」は設備表面に付着し「生物膜」や「生物汚濁」を発生させます。「生物膜」にはいくつかの深刻な問題を引き起こします。それらは強力に熱伝導（冷却）を阻害しエネルギー消費量を上昇させ「汚濁・腐食」を引き起こしながら、更なる「活性化」を行う「悪循環」を発生させてしまう事です。

「固着増殖」は主に冷却塔内部及び周辺、またバンドルチラー内部（チューブ型熱交換器のチューブ内の事）熱交換器表面、パイプ内によく見つかります。「生物膜」や「層になった藻類」は除去するのに非常に難しくなります。

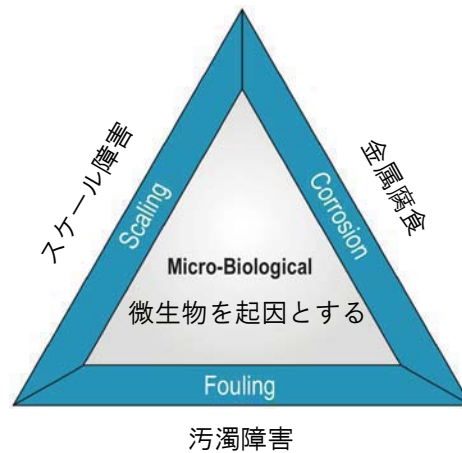


Figure 1.1. Cooling Tower Primary Treatment Concerns.

Side stream filtration systems reduce suspended solids and debris in the system cooling water, which leads to less fouling in the system. Decreasing suspended solids can also help reduce biological growth in the system because suspended solids are a good source of food for microbiological organisms. Decreasing biological growth in turn helps to reduce microbiologically influenced corrosion. In addition, scaling can be reduced from side stream filtration by limiting fouling and corrosion by-products, which can also contribute to scale formation on the heat exchange surfaces. Effectively managing these conditions through filtration can optimize system performance, often resulting in moderate to significant energy and water savings.

【簡易翻訳】

サイドストリーム型フィルターは冷却水から浮遊物(SS)・ゴミを減少させ汚濁障害も減少させます。また浮遊物質(SS)の低減は、微生物の増殖リスクも低減させます。なぜなら「浮遊物質(SS)が微生物有機体の最適な栄養源」だからです。

つまり「微生物の低減」が「金属腐食の低減」を意味し、さらに サイドストリーム型フィルターは汚濁障害や腐食の悪循環を抑制するだけでなく、効果的に管理する事で熱交換器表面のスケール析出も減少させます。

その結果「システム性能が最適化」され著しい「省エネ」と「節水」が実現できます。

Each of the treatment concerns can decrease cooling tower performance, increase the use of water treatment chemicals as well as reduce cycles of concentration. “Cycles of concentration” is an industry term used to describe the relationship between the amount of system feed water flow and the amount of flow sent down the drain as blowdown. Low cycles of concentration (high amount of blowdown in relation to the system feed) correlate to inefficient use of water in a system to satisfy cooling needs.

Full flow and side stream filtration are the two most common methods used to filter the water that is pumped into the circulation systems. Full flow filtration uses a filter installed after the cooling tower on the discharge side of the pump. This filter continuously filters all of the recirculating system water in the system. Inherently, the filter must be sized to handle the system’s design recirculation rate. Side stream filtration, on the other hand, continuously filters a percentage of the flow instead of the entire flow. It can be a cost-effective alternative to full flow filtration that can easily improve the water quality to reduce water consumption and ensure efficiency of the cooling systems. And unlike full flow filtration, side stream filtration systems can be cleaned while the cooling systems are online, avoiding the need for planned downtime (BAC 2012).

【簡易翻訳】

水質の悪化は冷却塔の効率を落とします。そして水処理剤の添加量が増えて水の濃縮倍率を落とさざるを得ません。「水の濃縮度（サイクル）」とは、業界用語で「給水量と排水量（ブローダウン）」の関係を説明する時に使われます。「低濃縮」は要求される冷却を満たす為に大量の水を（給水と排水の相関）使う非効率的な状態です。

「フル・ストリーム型」「サイド・ストリーム型」とは循環水路系における代表的な2種の「ろ過設置方法」です。「フル・ストリーム型」はフィルターを冷却塔のポンプの吐出後に取り付け、冷却水を全量かつ連続的に通して循環させる方法です。システムの設計・循環水量に応じてサイズが決められてしまいます。

その一方で「サイド・ストリーム型」とは、冷却水全量ではなく、その中からある割合で連続的に流す方法です。これは、費用効率の良い「フル・ストリーム型」の代替手段であり水の消費量を削減し、比較的簡単に水質を改善及び冷却システムの効率化が実現できます。そして「フル・ストリーム型」とは違い「サイド・ストリーム型」は冷却システムの計画停止を必要とせず、稼働中に清掃が可能です。(資料 BAC 2012 参照)

1.2 Technology Characterization

Side stream filtration systems continuously filter a portion of the cooling water to remove debris and particles and return filtered to the cooling tower basin (called the sump). Figure 1.2 below shows a simplified cooling tower schematic, including the two example locations where side stream filtration can typically be installed. These systems remove suspended solids, organics, and silt particles for a portion of the water system on a continuous basis, reducing the likelihood of fouling and biogrowth, which helps to control other issues in the system such as scaling and corrosion. This improves system efficiency and often reduces the amount of water blown down. There are a variety of filter types, which generally fall into four basic categories: screen filters, centrifugal filters, sand filters, and multi-media filters. (WPCP, 2012)

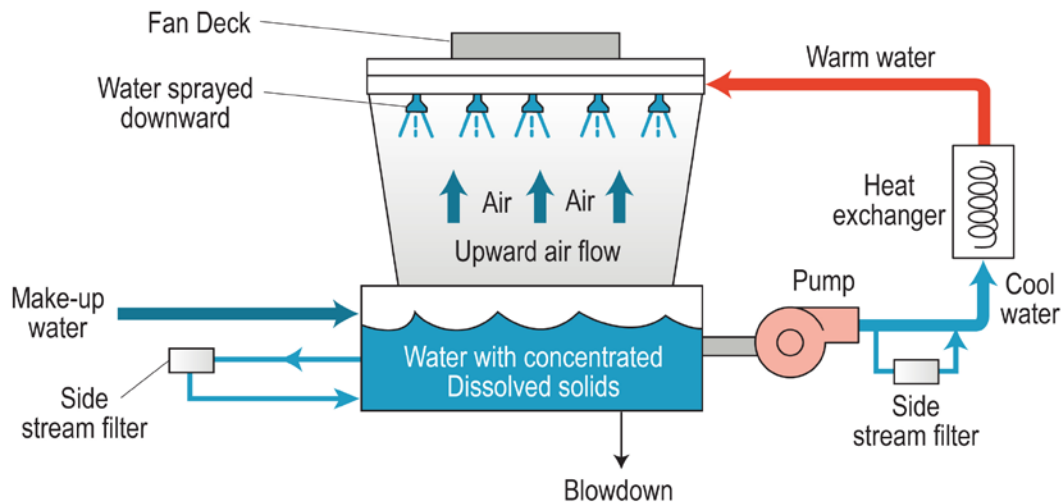


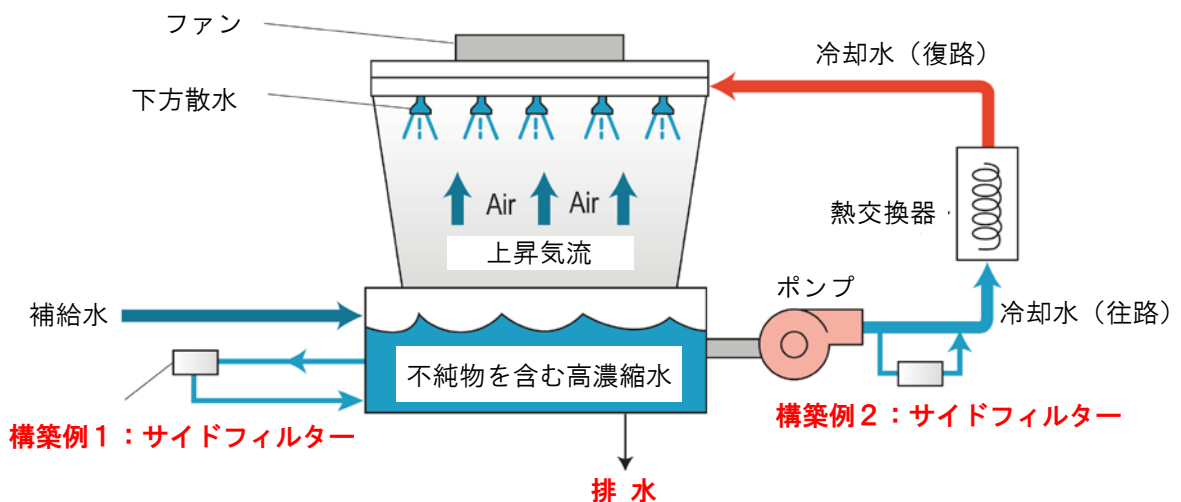
Figure 1.2. Cooling Tower with Side Stream Filtration Examples.

【簡易翻訳】

1.2 【技術説明】

サイドストリーム型ろ過は、冷却水を連続的にフィルターをかけ、水中に含まれる「粒子」「異物（欠片）」を取り除き、再び冷却塔底部の水溜め（サンプ）に戻します。

下記の【図1.2】は典型的な2種類のサイドフィルター設置場所を記載した冷却塔および水路系の構築例です。これらのシステムは冷却水から断続的に「総浮遊物(SS)」「有機物」「汚泥粒子」を除去します。「汚濁障害」や「微生物増殖」の低減が期待され、ひいては「スケール」や「金属腐食」等の障害をコントロールするのに寄与します。さて、フィルターには数々の種類がありますが、一般的には4種のカテゴリーに分かれます。スクリーン系（ストレーナー等）、遠心的分離系、砂ろ過系、およびマルチメディア・フィルターです。（WPCP,2012）



【図1.2】サイドストリーム型フィルターを搭載する冷却塔の主な構築例

Side stream filtration increases water and energy efficiency and reduces cost, as described below (Latzer 2012; BAC 2012).

- **Reduction in water consumption:** Demand for makeup water in cooling towers is decreased with an increase in the system's cycles of concentration. Essentially, higher cycles of concentration mean that water is being recirculated through the system longer before blowdown is required. Less blowdown reduces the amount of makeup water required in the system, resulting in water savings.
- **Reduction in energy consumption:** Side stream filtration reduces the likelihood of scale and fouling on the heat exchangers. Even the smallest layer of scale or fouling on heat exchange surfaces can reduce the rate of heat exchange, forcing the system to work harder to achieve the desired cooling and in turn increases energy costs.
- **Reduction in chemical use:** Chemicals are used to bind suspended particles in the water stream and prevent scaling and corrosion. Dirty water requires more chemicals than clean water because a buildup of solid contaminants provides a buffer that reduces the effects of treatment chemicals. A side stream filtration system can remove suspended particles, reducing the need for additional chemical treatments such as dispersants and biocides.
- **Lower maintenance cost:** Traditionally, cooling towers are cleaned by draining the tower and having the sediment removed mechanically or manually from the sump. Costs associated with the cleaning process include downtime, labor, lost water, and additional chemicals. Cooling systems that are cleaned via side stream filtration routinely provide longer periods of continuous operation before being taken off-line for required maintenance.
- **Improvement in productivity and reduction in downtime:** When a cooling system is fouled or has scale buildup, production may be slowed due to inefficient heat exchange equipment. In some cases, the cooling system and heat exchange equipment may need to be taken offline for repairs, decreasing production.
- **Control of biological growth:** Biological growth control and reduction can mitigate potential health problems, such as those caused by *Legionella*. ASHRAE Guideline 12-2000 has basic treatment recommendations for control and prevention, stating that the key to success is system cleanliness. *Legionella* thrives where there are nutrients to aid its growth and surfaces on which to live. Use of side stream filtration can minimize habitat surfaces and nutrients by maintaining lower particle levels in the water stream.

【簡易翻訳】

サイドストリーム型フィルターは「節水効率」と「エネルギー効率」を改善させコスト削減を実現する (Latzer 2012 ; BAC2012)

●水消費量の削減（節水）

冷却塔への補給水需要量は、冷却水の濃縮倍率を上げる事により低減出来ます。本質的には、水が排水を求められるよりも前にシステム内を長い時間循環する事により高濃縮されて行きます。「排水量」を減らす事は「補給水」を減らす事であり、結果として「節水」につながります。

●エネルギー消費量の削減（省エネ）

サイドストリーム型フィルターは熱交換器内のスケール及び汚濁障害（汚れ）の可能性を減少させます。熱交換器内部は、とても薄いスケール・汚濁層でさえも熱交換率を阻害します。システムは設定された熱交換率を達成する為に、より強制的に稼働率を上げるためエネルギーコストを増大させます。

●水処理薬剤量の削減（経費削減）

水処理剤は水路系で浮遊粒子を結合させスケール障害・金属腐食を予防するのに使用します。形成された総浮遊物質(SS)は水処理剤の効果を低減させますので「汚れた水」は「きれいな水」よりも多くの添加量を必要とします。サイドストリーム型フィルターは「浮遊物質」を除去し、分散剤（スケール予防剤）・殺菌剤等の追加投入量を減らします。

●メンテナンスコストの低下（維持管理費の削減）

通例的に、冷却塔の水溜め（サンプル）から、たまった沈殿物を自動または手動で排水・清掃します。塔内清掃と関連するコストは「システムの停止時間」「労働費」「排水（洗浄水）」そして「追加される水処理剤」です。定期的にサイドストリーム型フィルターを通す事により浄化された冷却水は、必要なメンテナンスの為にシステムを停止をするまでの稼働期間を引き延ばせます。

●「生産性の向上」と「停止期間の短縮」

冷却システムに汚濁障害やスケール堆積が発生している時、熱交換機器が非効率的な状態の為、生産に遅延が生じます。冷却システム・熱交換機器の停止及び修理が必要な場合もあり、生産量が減ってしまう事もあるでしょう。

●微生物増殖のコントロール

微生物の増殖、例えば「ASHRAEガイドライン12-2000コントロール・予防推奨処置」の指導では「レジオネラ属菌」が引き起こす潜在的な健康問題に対する解決への鍵（キー）は「システムを清潔にすること」と述べています。

レジオネラ属菌は「栄養素」と「生息面」が両立される箇所で増殖して行きます。サイドストリーム型フィルターの設置は、粒子濃度をより低く維持することでこれらの「栄養素」と「生息面」を最小にすることが可能です。

The Spallation Neutron Source (SNS) cooling tower at Oak Ridge National Laboratory (ORNL) is a four-cell, cross-flow tower that is divided into two two-cell operating systems.

オークリッジ国立研究所(ORNL)内の核破碎中性子源研究施設における
 “2セル×2セット”合計4セルの「直交流形冷却塔」

The table shows particle volume, measured in cubic millimeters per one hundred liters (mm³/100L). The total particle volume of the system without side stream filtration is 3,986 but is reduced to only 43 mm³/100L in the system with side stream filtration. This represents a 95% reduction in suspended solids, including complete removal of particles larger than 80 microns.

Table 4.1. ORNL Particle Distribution Analysis.

Micron Range	Particle Volume without Side Stream Filtration (mm ³ /100L)	Percentage of Overall Particle Volume without Side Stream Filtration	Particle Volume with Side Stream Filtration (mm ³ /100L)	Percentage of Overall Particle Volume with Side Stream Filtration
0.5-1.0	45	1.1	3	6.5
1.0-5.0	95	2.4	8	17.3
5.0-10	302	7.6	7	15.7
10-15	442	11.1	5	11.3
15-20	553	13.9	4	10.1
20-30	1,018	25.5	3	6.5
30-40	575	14.4	5	10.6
40-50	318	8.0	3	7.1
50-60	213	5.3	3	7.4
60-70	178	4.5	1	3.0
70-80	128	3.2	2	4.6
80-90	86	2.2	0	0.0
90-100	34	0.9	0	0.0
Total	3,986		43	

表4.1は100リットル (mm³/100L) 中に含まれる「粒子(粒径)」の量を「立方ミリメートル」で測定した結果です。「サイドストリームろ過」がない冷却水の総粒子体積は「3,986mm³」。一方で「サイドストリーム型ろ過」を付けた冷却水は「43mm³」に低減されています。これは循環水中の全てのSSの「95%」を減少させ、「80ミクロンより大きい」SSに限っては完全に除去しています。

表4.1 オークリッジ国立研究所の粒径分布の解析

粒径 (ミクロン)	サイドフィルターなし粒子量 (mm ³ /100L)	サイドフィルターなし粒子分布比率(%)	サイドフィルターあり粒子量 (mm ³ /100L)	サイドフィルターあり粒子分布比率(%)
0.5-1.0	45	1.1	3	6.5
1.0-5.0	95	2.4	8	17.3
5.0-10	302	7.6	7	15.7
10-15	442	11.1	5	11.3
15-20	553	13.9	4	10.1
20-30	1,018	25.5	3	6.5
30-40	575	14.4	5	10.6
40-50	318	8.0	3	7.1
50-60	213	5.3	3	7.4
60-70	178	4.5	1	3.0
70-80	128	3.2	2	4.6
80-90	86	2.2	0	0.0
90-100	34	0.9	0	0.0
Total	3,986		43	

3 System Economics

This section discusses the economics of a side stream filtration system, using a hypothetical example of life-cycle cost analysis for a side stream filtration system using pressure sand filters.

To calculate the potential savings associated with a filtering system, the analysis presented here is based on the following cooling tower specifications:

- System uses a 400 ton chiller.
- System operates 3720 hours a year.
- Typical load of the system is 70%.
- Operating efficiency is 65%.
- Cycles of concentration is 3
- Cooling tower consumes \$1,500 worth of water treatment chemicals per year.
- Cooling tower is cleaned three times per year; each cleaning requires two people for 24 hours at a total estimated cost of \$4,320.

【簡易翻訳】

3. 設備の経済性

ここでは、サイドストリーム型フィルターの設置を仮定して「経済性」や「ランニングコスト」を検証する。システムの「省エネ計算」を行うにあたり、冷却塔の仕様は下記の通りとします。

- 400 トンの冷凍機
- 3,720 時間稼働 / 年間
- 負荷率：70%
- 稼働率：65%
- 冷却水 濃縮倍率：3 倍
- 水処理薬剤費：\$1,500 / 年間
- 塔内清掃費：\$4,320 / 年間 3 回 （※1 回の清掃で 2 人工 ・ 24 時間）

The supply water contains particles with a minimum size of 20 microns. These particles take up 90% of the total particle volume and have the potential to form a layer of foul measuring approximately 0.001 inch thick. Each 0.001 increase in fouling results in a 10 % increase in power (ASHRAE Standard 550-98). In addition, this amount of particles can cause a 20% increase in the costs of water treatment chemicals (Dearmont et al. 1998).

The current energy cost of this cooling tower is estimated to be \$47,393 per year, based on the following formula:

$$\text{A}\backslash\text{C ton} \times \text{kW/ton} \times \text{load factor} \times \text{hours of operation/yr} \times \text{cost/kWh} = \text{energy costs/year}$$

$$400 \text{ ton A}\backslash\text{C} \times 0.65 \text{ kW/ton} \times 0.7 \text{ load factor} \times 3,720 \text{ operating hours} \times \$0.07/\text{kWh} = \$47,393$$

In this example, a side stream filtration system is installed that filters 10% of the entire flow rate to remove the identified particles, with a minimum size of 20 microns. With this system installed, it is estimated that the cooling tower would consume 10% less energy (PEP, 2010), which translates to \$4,739 of energy savings per year. Cycles of concentration would increase from three cycles to four in the system and create a water savings of 228,000 gallons of water annually (PNNL 2012). At a combined water cost of \$7 per thousand gallons, this will save \$1,596 annually. In addition, the filtration system is projected to reduce water treatment cost by 20% saving \$300 per year. Finally, it is estimated that the maintenance requirement for the cooling tower could be cut in half (LAKOS, 2012), generating an annual maintenance saving of \$2,160. In total, the side stream filtration system would save \$8,795 per year.

補給水は最小サイズ 20 ミクロンの粒子 (SS) が含まれる。

全ての粒子 (SS) の 90%を除去する事によって、厚さおよそ 0.001 インチの不純物の付着を予防します。

0.001 インチ毎に余剰エネルギー 10% 上昇する。(アメリカ暖房冷凍空調学会指針 : 550-98 参考)。

また、この全粒子 (SS) は「20%の水処理薬剤費を上昇」させます。(報告書 Dearmont et al 1998 参考)。

この冷却塔の現状の「エネルギーコスト」は、下記に基づいて計算すると年間 \$47,393 と推定される。

$$\text{AC ton} \times \text{kW/ton} \times \text{load factor} \times \text{hours of operation/yr} \times \text{cost/kWh} = \text{energy costs/year}$$

$$400 \text{ ton A}\backslash\text{C} \times 0.65 \text{ kW/ton} \times 0.7 \text{ load factor} \times 3,720 \text{ operating hours} \times \$0.07/\text{kWh} = \$47,393$$

ここでは、最小粒径 20 ミクロン (SS) を除去する為にサイドストリーム型で総循環水量に対して10%を処理するフィルターを設置します。

この場合、この冷却塔は約 10%の省エネに成功し (報告書 PEP, 2010 参考) 年間 \$4,739 のコスト削減。

濃縮倍率も 3 倍から 4 倍に上げる事によって、年間 228,000 ガロンの節水が実現 (報告書 PNNL 2012 参考)

1,000 ガロンを 7\$ で換算した時、年間で \$1,596 の節水を実現。

さらに水処理薬剤費を 20% 落とし、年間で \$300 削減。

最後に塔内清掃費を半分にする事によって (報告書 LAKOS, 2012 参考) メンテナンスコストが \$2,160 となりサイドストリーム型フィルターがもたらす削減額は年間で \$8,795 となる。

A life-cycle cost (LCC) analysis was performed on this hypothetical example for a pressure sand filter. Pressure sand filters generally have the highest estimated cost of equipment and installation. It was concluded then, if the pressure sand filtration system had favorable economics, then all other systems would likewise be favorable. The savings estimates were based on a few manufactures' return on investment (ROI) Excel spreadsheet calculator tools (LAKOS 2012; PEP, 2010) and LCC calculations were performed using the Department of Energy's Building Life Cycle Cost (BLCC) (v5.3-11) software.

Table 3.1. Life-Cycle Analysis for Pressure Sand Filtration Systems.*

Filtration Type	Total Investment	Annual O&M Cost	Total Savings per Year	Payback Period	Savings to Investment Ratio
Pressure Sand Filtration	(A) Equipment cost: \$35,000 (B) Installation cost: \$10,000 (C) Total investment: 45,000	Annual O&M cost = \$1,440 (labor) + \$500 (sand renewal + \$1166 (sand replacement) = \$3106	\$8,795	8 Years	2.31

* The cost and saving estimates of this life-cycle cost analysis is based on Pacific Northwest National Laboratory industrial survey data and the prices are as of June 2012.

推定ランニングコストの算出は「圧力式砂ろ過器」を用いる事とする。一般的に「圧力式砂ろ過器」は設置にかかる最も高い機器である事から、仮に「圧力式砂ろ過器」の経済性が認められるならば、その他の全てのサイドストリーム型フィルターは、同様と結論付ける。

コスト削減の算定は、製造メーカーの（LAKOS 2012; PEP,2010）Excel スプレッドシート投資収益率（ROI）を基にし、ランニングコストの算出は「Department of Energy's Building Life Cycle Cost(BLCC)(v5.3-11)software」を使用。

表 3.1. 「圧力式砂ろ過器」の維持管理費用

フィルタータイプ	総導入費用	年間維持管理費 (Operation & Maintenance Cost)	年間削減額	減価償却	投資収益率
圧力式砂ろ過器	(A) 機器費用 : \$35,000 (B) 設置費用 : \$10,000 (C) 設置総費用 : \$45,000	年間保守・維持コスト = \$1,440 (工賃) + \$500 (砂入替) + \$1,166 = \$3,106	\$8,795	8年	2.31

* この年間維持管理費と推定値は、パシフィック・ノースウェスト国立産業研究所に基づいており、調査データや価格については、2012年6月のものです。